



EESTI MAAÜLIKOOL

Tehnikainstituut

Vidrik Kört

MOBIILNE TEEKATTE SEISUNDI MÄÄRAMISE SEADE

MOBILE ROAD SURFACE STATE DETECTOR

Magistritöö

Tootmistehnika õppekava

Juhendaja: Arne Küüt, *PhD*

Tartu 2018

Lühikokkuvõte

Eesti Maaülikool		Magistritöö lühikokkuvõte	
Kreutzwaldi 1, Tartu 51014			
Autor: Vidrik Kört		Õppekava: Tootmistehnika	
Pealkiri: Mobiilne teekatte seisundi määramise seade			
Lehekülgi: 75	Jooniseid: 41	Tabeleid: 1	Lisasid: 2
Osakond / Õppetool: Biomajandustehnoloogiate õppetool			
ETIS-e teadusvaldkond 4.14 Tootmistehnika ja tootmisjuhtimine			
CERCS-i eriala: T130 Tootmistehnoloogia			
Juhendaja(d): Arne Küüt, PhD			
Kaitsmiskoht ja -aasta: Tartu 2018			
<p>Üks suurimaid mõjutajaid liiklusõnnetuste tekkimisel on ilm. Selleks, et ennetavalt avastada ebasoodsaid ilmastikutingimusi ning liiklusõnnetusi vältida, tuleks anda autojuhtidele võimalus ohtlike tingimuste soodsaks avastamiseks ning hoiatuste saamiseks. Jää, lumi ja vesi muudavad sõiduki rataste haardetegurit märgatavalt. Seega võiks olla võimalus teekatte pinnal olevaid teeolusid tuvastada. Magistritöö eesmärgiks oli konstrueerida seade, mille abil oleks võimalik tuvastada vee, jää ja lume olemasolu sõiduteel. Seade kuvab vastavalt ilmastikutingimusele haardeteguri ja soovitatava sõidukiiruse. Töö käigus tehti patendi- ning turul olevate seadmete uuring. Püstitati probleemi olemus ning uuriti erinevaid mõõtmisvahendeid, millega antud probleemi lahendada. Töötati välja vajalik lahendus, tehti katsed, analüüsiti tulemusi, programmeeriti vajalik kood ning koostati prototüüp. Et välja selgitada pidurdusteed erinevatel kiirustel, tehti ka arvutused. Järeldustest ning ettepanekutest saab lähtuda töö edasiseks arenduseks. Seadme parendamiseks on välja pakutud mitu erinevat moodust.</p>			
Märksõnad: teekate, haardetegur, spektromeeter, mikrokontroller, andur			

Abstract

Estonian University of Life Sciences Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Abstract of Master's	
Author: Vidrik Kõrt		Curriculum: Production Engineering	
Title: Mobile road surface state detector			
Pages: 75	Figures: 41	Tables: 1	Appendixes: 2
<p>Chair: Biosystems Engineering</p> <p>ETIS field of science: 4.14 Industrial Engineering and Management</p> <p>CERCS specialty: T130 Production technology</p> <p>Supervisor: docent Arne Küüt, PhD</p> <p>Place and date: Tartu 2018</p>			
<p>Weather is one of the greatest influencers of traffic accidents. To discover the unfavorable conditions preventively, the drivers should be given a chance to detect the unfavorable conditions and receive warnings. Ice, snow and water change the wheels friction coefficient considerably. The aim of this thesis is to construct a device that allows the discovery of the presence of water, ice and snow on the road. The device displays the friction coefficient according to the weather conditions and suggests a recommended driving speed. In the course of the theoretical part of this thesis, a research was made on the patents and the available devices in the market. The essence of the problem was established and different measuring devices were researched to resolve the given problem. The necessary solution was developed, experiments were made, the required code was programmed and a prototype was put together. In addition, to establish the braking distance on different driving speeds, calculations were made. The further development of the thesis can be emanated from the conclusions and proposals. Several methods to improve the device are suggested.</p>			
Keywords: Roadway, friction coefficient, spectrometer, microcontroller, sensor			

SISUKORD

Lühikokkuvõte.....	2
Abstract.....	3
Tähised	6
SISSEJUHATUS	7
1. LÕPUTÖÖ EESMÄRK	8
2. PATENDIUURING	9
3. OLEMASOLEVATE SEADMETE UURING	11
3.1. Mobile Advanced Road Weather Information Sensor.....	11
3.2. Remote Road Surface State Sensor DSC111	12
4. PROBLEEMI OLEMUS	14
5. VÄLJAPAKUTUD LAHENDUS	15
6. PROTOTÜÜPSEADME KONSTRUEERIMINE	16
7. ANDURI TÖÖPÕHIMÕTE	20
8. MÕÕTEMETOODIKA	21
9. KATSED	23
9.1. Statsionaarsed katsed	23
9.2. Sõidukatsed	24
9.2.1. Sõidukatsed kuival asfaldil.....	25
9.2.2. Sõidukatsed kruusal.....	26
9.2.3. Sõidukatsed märjal asfaldil.....	27
9.2.4. Sõidukatsed lumega.....	28
9.2.5. Sõidukatsed pimedas	29
10. TULEMUSED.....	30
10.1. Statsionaarse katse tulemused.....	30
10.2. Sõidukatsete tulemused.....	32

10.2.1. Kuiv asfalt	32
10.2.2. Märg asfalt.....	39
10.2.3. Kruus	40
10.2.4. Lumi	44
11. VALEMID JA ARVUTUSED.....	49
11.1. Pidurdusteeconna arvutused	49
12. PROGRAMMEERIMINE	54
13. INFO KUVAMINE TELEFONI.....	58
14. PROBLEEMID, MIS ESINESID SEADME VÄLJATÖÖTAMISEL.....	61
15. JÄRELDUSED JA ETTEPANEKUD	62
16. HINNAKIRI JA MAKSUMUS	64
KOKKUVÕTE	65
SUMMARY	66
KASUTATUD KIRJANDUS	67
LISAD	71
Lisa A. Kirjutatud kood	Error! Bookmark not defined.
Lisa A järg	Error! Bookmark not defined.
Lisa A järg	Error! Bookmark not defined.
Lisa B. Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks ning juhendaja (kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta.....	Error! Bookmark not defined.

Tähised

A	-	hõõrdejõu töö, J
E_k	-	kineetiline energia, J
F_H	-	hõõrdejõu suurus, N
g	-	raskuskiirendus, m/s^2
m	-	mass, kg
s	-	pidurdusteed, m
u	-	haardetegur
v	-	kiirus, m/s

SISSEJUHATUS

Üks suurimaid mõjutajaid liiklusõnnetuste tekkimisel on ilm. Selleks, et ennetavalt avastada ebasoodsaid ilmastikutingimusi ning liiklusõnnetusi vältida, tuleks anda autojuhtidele võimalus ohtlike tingimuste soodsaks avastamiseks ning hoiatuste saamiseks. Jää, lumi ja vesi muudavad märgatavalt sõiduki rataste haardetegurit. Seega võiks olla võimalus tuvastada teekatte pinnal olevaid teeolusid.

Käesoleva lõputöö eesmärgiks oli konstrueerida seade, mille abil oleks võimalik tuvastada teekattel erinevaid ilmastikutingimusi ning mis oleks tavakasutajale kättesaadav. Tehti patendiuuring ja turul olevate seadmete uuring. Püstitati probleemi olemus ning uuriti erinevaid mõõtmisvahendeid, millega antud probleemi lahendada. Lahenduse väljatöötamise käigus tehti erinevaid katseid, analüüsiti tulemusi ning koostati selgitavad graafikud. Selleks, et välja selgitada pidurdusteed erinevatel kiirustel, teostati ka arvutused.

Töös uuriti lähemalt infrapuna spektromeetri abil teekatte pinnal tuvastatavaid ilmastikunähtusi. Infrapunakiirgus on elektromagnetkiirgus, mille lainepikkus on 0,74–2000 μm , s.o vahemik nähtavast valgusest kuni raadiolaineteni [23]. Infrapunakiirgus jääb meile argielus küll silmale märkamatuks, kuid ometi ümbritseb meid kõikjal, olles näiteks televiisori kaugjuhtimispuldil või mobiiltelefonis. Seda kasutatakse sihtmärgi tuvastamisel ja jälgimisel sõjaväes, vahetu kontaktita temperatuuri mõõtmisel, lähimaa traadita andmesideühendusel ja ilmaennustamisel [24]. Infrapunakiirgust saab kasutada ka teistel otstarvetel. Näiteks tänavatel jää, vee või lume tuvastamiseks, mille abil saab teada kui libe teekatte pind on. Lõputöös käsitleme infrapunaandurit, et tuvastada teekattel erinevaid ilmastikuolusid.

Lõpptulemusena koostati prototüüp, millega on võimalik tuvastada erinevaid teekatte tüüpe ning teepinnal esinevaid ilmastikuolusid. Tuvastatud info kuvatakse koos haardeteguri ning soovitatava kiirusega Bluetooth-ühenduse abil mobiiltelefonis.

1. LÕPUTÖÖ EESMÄRK

Lõputöö eesmärgiks on konstrueerida prototüüp, mille abil oleks võimalik tuvastada vee, jää ja lume olemasolu teel. Seadme edasiarendatud variant peaks kuvama vastavalt ilmastikutingimusele haardeteguri ja soovitatava sõidukiiruse. Kuna turul olevad seadmed on liiga kallid või eraisikuna ei ole võimalik neid soetada, peab seade olema odav ning kompaktne.

Eesmärgi saavutamiseks püstitati alljärgnevad ülesanded:

- Patendiuuring
- Turul olevate seadmete uuring
- Probleemi püstitamine
- Erinevate mõõtmisvahendite uurimine
- Lahenduse väljatöötamine
- Katsete teostamine
- Prototüüpseadme koostamine

Seadme tingimuste koostamisel lähtuti turul olevate seadmete uurimisest ja probleemi olemasolust. Vaja oli leida lahendus, mille abil saaks kõrvaldada puudujäägid.

Seadmele esitatud tingimused:

- Eristaks teekattel esinevaid ilmastikunähtusi: lumi, vesi, jää, kuiv teekate
- Kuvaks mõõdetud ilmastikutingimusele vastava haardeteguri
- Kuvaks soovitatava sõidukiiruse
- Soovitatavalt madalama maksumusega kui konkureerivad seadmed
- Kompaktne ja mobiilne seade, mis on erinevatele mootorsõidukitele lihtsasti paigaldatav.

2. PATENDIUURING

Patendiuuringu eesmärgiks oli otsida ja uurida sarnaseid patenteeritud seadmeid ning selgitada välja, kas probleemile on leitud lahendus. Allolevas tabelis on välja toodud uurimiseks kasutatud otsingusõnad ja tulemused (Tabel 1). Kasutati *Espacenet* ja *Google patents* andmebaasi. Kõik saadud tulemused on läbi analüüsitud ning välja on toodud kõige sarnasemad patendid. Paljud patendid kattuvad üksteisega nii *Espacenetis* kui ka *Google* keskkonnas, seega tuli päris palju vastuseid. *Google* patentide juures tuleb arvestada seda, et uuringu puhul otsiti lauseid tervikuna, mis vähendas tunduvalt otsingutulemuste arvu, kuid tulemuste kogus oli siiski väga suur.

Tabel 1. Patendiuuringu koostamiseks valitud otsingusõnad ja nende vastuste kogus

Otsingusõnad	Tulemused Espacenet (tk)	Tulemused Google patents (tk)
Road and runway surface sensor	17	5632
Road adhesion sensor	81	68990
Road adhesion detector	14	101 184
road surface state detector	205	505909
road adhesion infrared sensor	0	12 112
road surface infrared sensor	172	66 240
road surface ice detection	55	37 248
road surface snow detection	109	31197

1. **CN106627586A** Vehicle-mounted sensor, vehicle lamp, vehicle, and road surface state sensor [1].

Patent teekattel esinevate keskkonnatingimuste tuvastamiseks. Sõiduki külge on kinnitatud infrapunaandur. Andur saadab signaali kahes erinevas lainepikkuses. Kuna erinevatel lainepikkustel on vee molekul erinevate valguse neeldumisteguritega, on tuvastatav, kas teekate on märg või mitte. Puuduseks tooks välja, et patendis on räägitud ainult vee tuvastamisest teekattel.

2. **JP2000180378A** Road surface state detector [2].

Seade, mis kasutab teekattel esinevate keskkonnatingimuste tuvastamiseks kaamerat ja valguskiirt. Valguskiir kuvatakse valgusallikast sõiduki ette ja kaamera fikseerib, kas valguse eredus on seadmele ette määratud mõõtmisvahemikus.

3. **JPS6247566A** Road condition detector [3].

Seade kasutab ostsillaatorit. Signaal peegeldatakse teepinnale. Taimer aktiveerub ning peegeldatakse kontrollsignaal. Kui kahe peegeldunud laine vahel on erinevused, sisestatakse loendurisse 1. Lumise tee tuvastamise signaal antakse, kui loendamiskordade arv on suurem kui ettenähtud aeg.

4. **JPH02293611A** Road surface state detector [4].

Seadme eesmärk on eristada teekattel esinevaid keskkonnatingimusi edastades ultraheli laineid teepinnale. Lained peegeldavad signaali tagasi vastuvõtjasse. Tuvastatakse tee pinnal olevad ilmastikunähtused.

5. **JPH11223517A** Road surface state detector [5].

Teepinna seisundi tuvastamiseks on sõiduki külge kinnitatud detektor. Üks andur mõõdab teekatet enne ratast ja teine peale ratast. Neid väljundiväärtusi võrreldes hinnatakse teepinna seisundit. Kui kaks väärtust erinevad liiga palju, leitakse, et tegu on lumise teega. Kui kaks väärtust erinevad vähe, annab see aimu, et tee on kuiv.

6. **US4274091A** Road surface ice detector and method for vehicles [6].

Seade kasutab infrapunaandurit. Mõõdetakse peegeldunud kiirgust ja autojuhile kuvatakse jää olemasolu. Miinuseks on see, et mõõdetakse ainult jääle vastavat valguse neeldumisvahemikku, mistõttu juht saab märguande ainult jää olemasolust.

7. **JPH1096694A** Road surface state detector and vehicle loading the apparatus, and road surface information control system using the apparatus [7].

Antud patendi puhul on tegemist jällegi infrapunaanduriga, mis mõõdab teepinnalt peegeldunud valgust. Info saadetakse kontrollerrisse ja analüüsitakse mõõtetulemusi. Lisaks mõõdab andur ratta pöörlemise kiirust, mis annab tulemuste arvutamiseks täpsust. Miinuseks on see, et ei kuvata haardetegurit ega soovitatavat kiirust.

3. OLEMASOLEVATE SEADMETE UURING

Turul olemasolevad seadmed on tehniliselt läbi mõeldud ja toimivad, vajalikud funktsioonid on olemas, kuid on mõõtmiselt suured ning tavakasutajale kättesaamatud. Nende hind on väga kõrge ning need on kasutusel pigem teehooldusettevõttes või lennujaamades. Alljärgnevalt toon välja mõned näited Saksamaa ja Soome turul olevatest seadmetest.

3.1. Mobile Advanced Road Weather Information Sensor

Mobiilne ilmastikuandur MARWIS on sõiduki liikuvaks keskkonnatingimuste tuvastamise abivahendiks, tuvastades erinevaid kriitilisi maantee ilmastiku parameetreid. Andurit saab paigaldada sõidukitele 1–2m kõrgusele maapinnast (joonis 1). Seade annab teavet teepinna temperatuuri, jäätumispunkti ja teekatte tingimuste kohta (kuivus, niiskus, märg tee, lumi või jää). MARWIS on hõlpsasti kasutatav koos talviste teehooldusvõrgustikuga, edastades andmeid serverisse koos asukoha infoga [8].



Joonis 1. Sõiduki külge kinnitatud MARWIS andurid.

Mõõteparameetrid:

Tuvastab teekatte seisukorda: kas on tegu kuiva, niiske, märja teekattega, lume või jääga.

Mõõdab temperatuuri, veekihi paksust, jäätumispunkti, jää protsendi suurust, haardetegurit, maapinna kohal olevat niiskust.

Mõõtetehnoloogia:

MARWIS ilmastikuandur kasutab mõõtetulemuste saamiseks optilisi LED-saatjaid, fotosid, infrapunaandureid ja püromeetrit.

Kasutusala:

- Maantee, kiirtee teehooldusettevõtete abistamine
- Oluliseks osaks lennujaamade teekatte veekihi paksuse ja haardeteguri määramisel.
- Ilmastikuandmete kogumine ja ilmaennustusprojektide andmete täiustamine.

3.2.Remote Road Surface State Sensor DSC111

Unikaalne DSC111 andur eemaldab varasema maa külge kinnitamise probleemi, kuna seadet on võimalik paigutada posti otsa ning ilmastikuolusid saab mõõta teatud distantisi kauguselt. Spektroskoopia põhimõttel töötav andur võimaldab vee, jää ja lume koguste täpset mõõtmist. Andur annab täpse tulemuse jääkristallide olemasolu kohta enne kui tee muutub libedaks. DSC111 anduriga saab ühendada täiendavaid seadmeid, et moodustada mitmekülgne iseseisev ilmajaam [9]. Samuti on võimalik teda kinnitada auto külge ja mõõta teeolusid sõidu pealt (joonis 2).



Joonis 2. Sõiduki külge kinnitatud DSC111 andur.

Mõõtetehnoloogia:

DSC111 kasutab mõõtetulemuste saamiseks spektroskoopia tööpõhimõtet.

Mõõteparameetrid:

Tuvastab teekatte seisukorda: kas on tegu kuiva, niiske, märja teekattega, lume või jääga.

Mõõdab teekatte ja õhu temperatuuri, haardetegurit, maapinna kohal olevat niiskust.

4. PROBLEEMI OLEMUS

Kuna eelnevalt välja toodud seadmed on mõeldud eelkõige lennuväljadele või teehooldustöid teostavatele firmadele, pole nendest tavainimesele kuigi palju kasu. Kuid miks ei võiks olla sarnane seade ka tavalise auto küljes ning eriti seda veel taskukohase hinnaga? Tänapäeval, kui liikluses on palju masinaid, oleks sellist seadet vaja, et hoida ära ilmastikutingimuste tõttu juhtuvaid liiklusõnnetusi.

Nagu eelnevalt näha, on turul olevad seadmed väga professionaalsed, mistõttu on nad ka väga kallid. Tegin hinnapäringu eelnevalt välja toodud kahe anduri kohta ja alljärgnevalt toon välja probleemid.

Suurim probleem on hind ning kättesaadavus:

- Soomlaste firma Vaisala toode – Remote surface state sensor DSC111 – ainult sensor maksab üksinda 11000€.
- Saksa firma Lufft toode - Mobile Advanced Road Weather Information Sensor – eraisikuna ei saanud isegi hinnapakumist.

Tuleb välja, et tavalise inimese jaoks ei olegi selline seadeldis auto külge kinnitamiseks mõeldud ja kui oleks, siis kindlasti maksaks ta vähemalt sama palju kui soomlaste firma Vaisala toode. Seepärast koostati probleemi lahendamiseks võimalikult taskukohase hinnaga esialgne prototüüp.

5. VÄLJAPAKUTUD LAHENDUS

Lahenduse koostamisel on lähtutud hinnast. Kuna eelnevalt tuli välja, et turul olevad seadmed on väga kõrge maksumusega, tuli leida parem lahendus. Lahenduse eesmärgiks oli koostada seade, mis suudaks tuvastada teepinnal leiduvad ilmastikuolud. Siinjuures tuleb märkida, et arvesse tuli võtta ka teekatete erinevused: erinevad asfaltid ja kruus.

Seadme abil saab määrata:

- Teekatte seisukord: kuiva, niiske, märg teekate, jää või lumi
- Umbkaudse haardeteguri kuvamine
- Soovitava kiiruse kuvamine

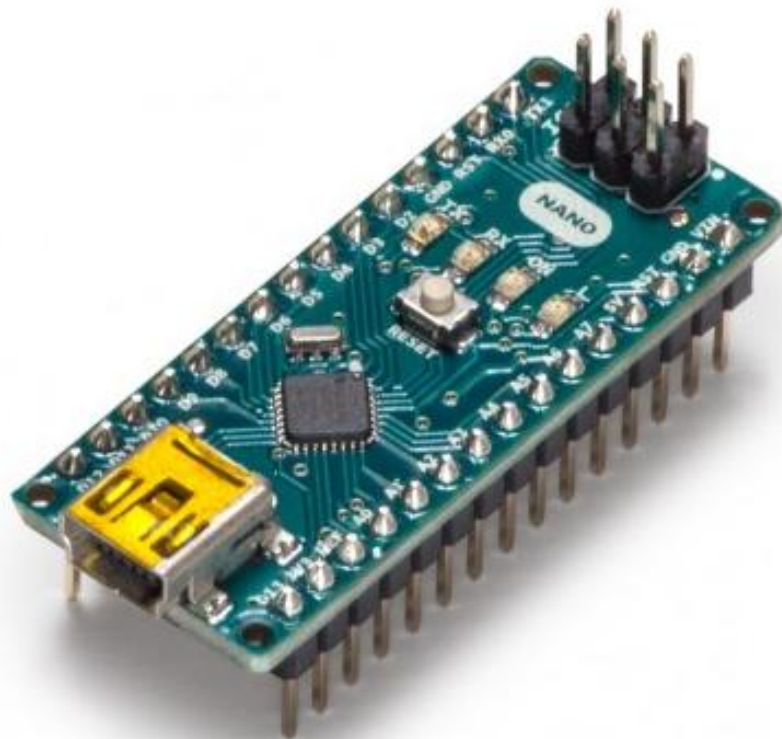
Teekatte seisukorda mõõdetakse anduri abil. Haardeteguri määramine toimib arvutuste kaudu ning see kuvatakse koos soovitatava sõidukiirusega mobiiltelefoni. Info kuvamine mobiiltelefoni toimub bluetooth ühenduse abil. Arduino Nano elektroonikamoodul, mis baseerub ATmega328 protsessoril, saab toide adapteri vahendusel sigaretisüütajast.

6. PROTOTÜÜPSEADME KONSTRUEERIMINE

Prototüüpseade töötati välja lihtsusest lähtudes, tagades piisava mõõtetäpsuse. Kindlasti peab olema seade tasukohase hinnaga. Et seadet koostada, on vaja eelnevaid tehnilisi ja programmeerimisalaseid teadmisi. Vajalikud komponendid ja nende tutvustus on lahti seletatud alljärgnevalt:

Mikrokontrolleri arendusplaat Arduino Nano

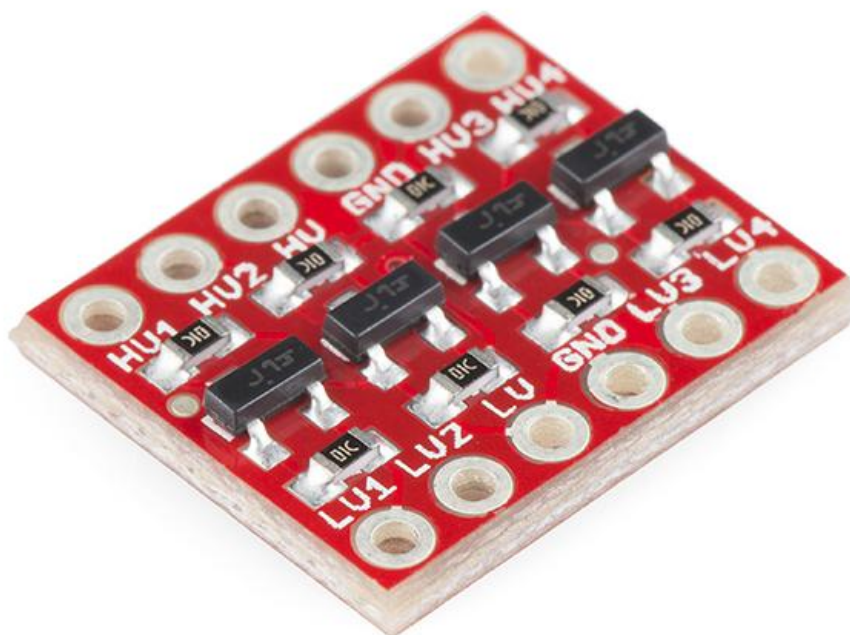
Arduino Nano on ATmega328P-l põhinev väike, mikrokontroller (joonis 3). Ta pakub sama ühenduvust ja spetsifikatsioone nagu Arduino UNO, kuid on väiksem. Programmeeritakse Arduino tarkvara (IDE) abil [16]. Toite saab 5V Mini-B USB ühenduse kaudu. Arduino Nano toetab I²C ühendust[17]. Läbi I²C on ka käesolev prototüüp ühendatud.



Joonis 3. Arduino Nano mikrokontroller [17].

Loogika taseme muundur *SparkFun Logic Level Converter*

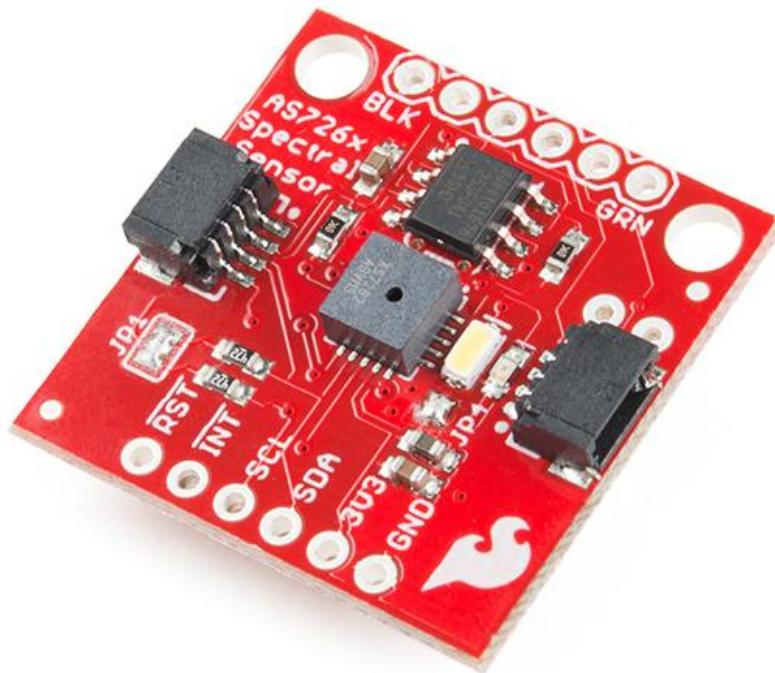
SparkFun kahesuunaline loogika taseme muundur on väike seade, mis vähendab ohutult 5V signaale kuni 3,3 V ja suurendab samaaegselt 3,3 V kuni 5 V (joonis 4). See tasemekonverter töötab ka 2,8 V ja 1,8 V seadmetega. Loogikamuundurit on väga lihtne kasutada. Seadmega tuleb ühendada pinge 5V ja maandus, et saada kätte 3,3V või vastupidi[18]. Kuna käesoleva prototüübi andur kasutab just 3,3V ja Arduino Nano 5V lähebki meil loogikataseme muundurit vaja.



Joonis 4. Loogikataseme muundur *SparkFun Logic Level Converter - Bi-Directional*[18].

The SparkFun AS7263 Near Infrared (NIR) Spectral Sensor

SparkFun AS7263 Near Infrared andur toob esile spektroskoopia lihtsuse, mistõttu on kerge mõõta ja iseloomustada, kuidas eri materjalid neelavad ja peegeldavad erinevaid valguse lainepikkusi (joonis 5). *AS7263 Breakout* on ainulaadne, sest suudab AT-käske kasutades suhelda nii I²C-liidese kui ka jadaliideselega. *AS7263 Spektromeeter* tuvastab lainepikkuseid vahemikus 610, 680, 730, 760, 810 ja 860 nm[10]. Anduri mõõtmise tööpõhimõttest on lähemalt räägitud peatükis „Anduri mõõtmise tööpõhimõte“.



Joonis 5. *The SparkFun AS7263 Near Infrared (NIR) Spectral Sensor*[10].

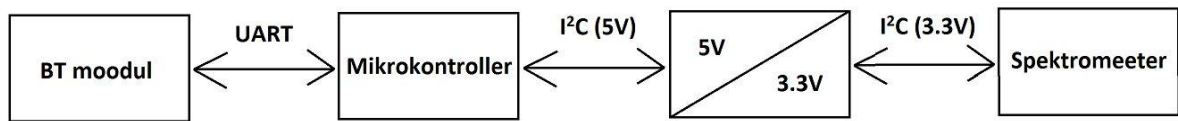
Bluetooth moodul HC-06

Bluetooth on standard 2,4 GHz juhtmevaba ühenduse loomiseks. Eelkõige loodi see mõttega ühendada seadmed nagu kõrvaklapid, GPS, klaviatuurid jms arvutite ja mobiiltelefonidega. Seepärast on ühenduse loomine tehtud lihtsaks (automaatseks) ja väga kaugele ei levi. Üks populaarsemaid *Bluetooth* mooduleid on HC-06, kus mooduli osa on asetatud Arduino jaoks sobivale plaadile (joonis 6). Ühendamisel Arduinoga, peame jälgima, et seade töötaks 3,3-4,2V pealt [25].



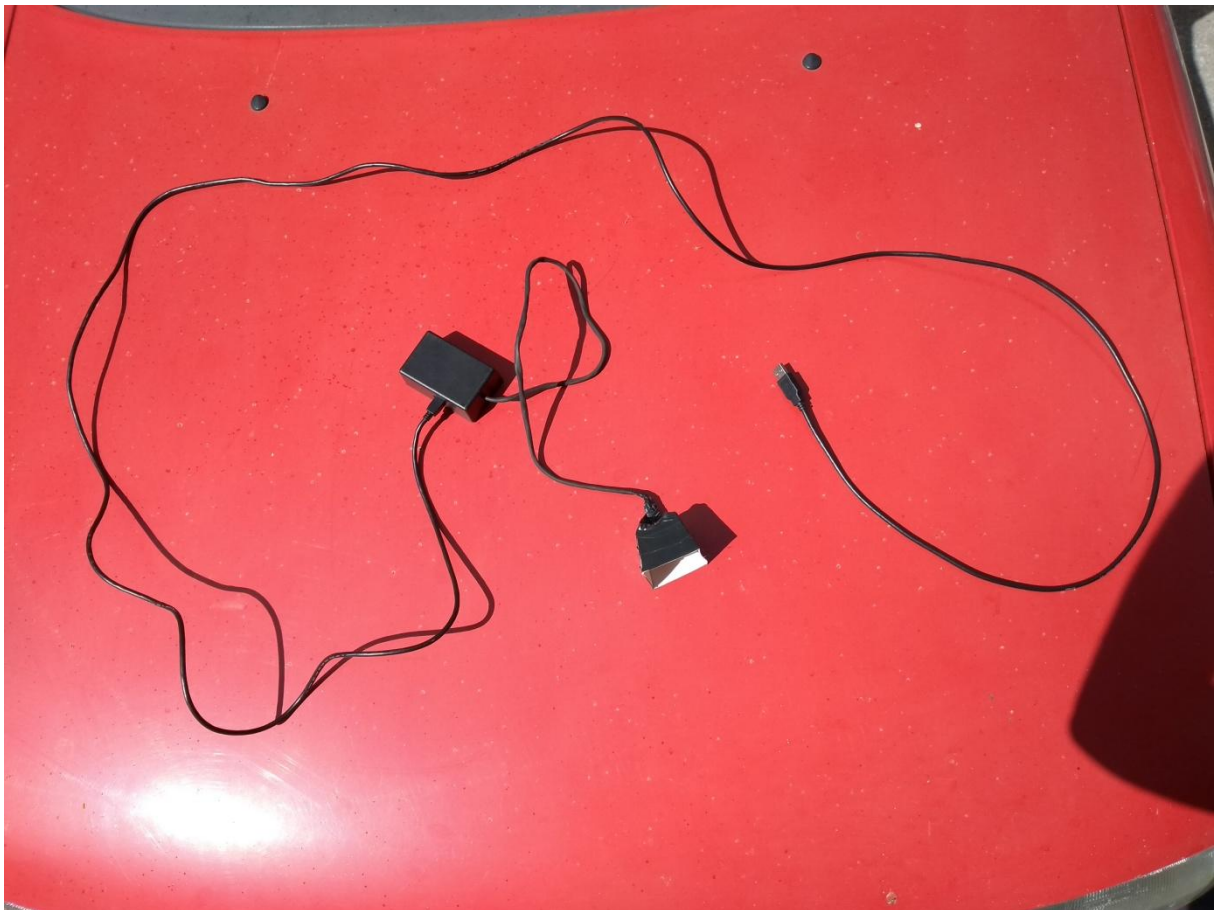
Joonis 6. Bluetooth moodul HC-06 [25].

Kõik elemendid ühendati omavahel. Ühendamise skeem on väljatoodud alloleval pildil (joonis 7).



Joonis 7. Prototüübi ühendamise plokk skeem.

Ühendamise jaoks tehti vajalikud tinutamised ning mahutati elemendid karpi (joonis 7). Juhtmete tarvis tehti vajalikud avad. Mikro USB-juhe valiti 3m, kuna vanematel autodel on sigaretisüütaja toite võtmise koht ainult esimeste istmete lähedal.



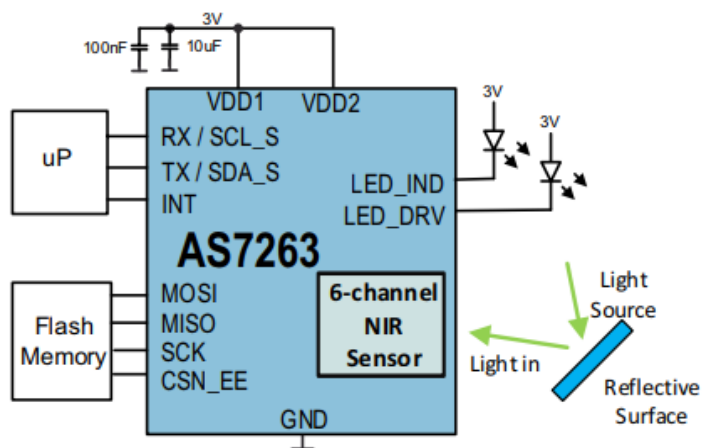
Joonis 7. Prototüüp.

Mikroprotsessorist andurini minevad juhtmed, mille pikkuseks on 70 cm kaeti termokahaneva toruga ning anduri ümber meisterdati kaitsvad seinad.

7. ANDURI TÖÖPÕHIMÕTE

Prototüüp koosneb erinevatest elektroonika komponentidest, mis on omavahel sobilikult toimima pandud. Anduri mõõtetehnoloogiaks on spektroskoopia põhimõttel olev signaali lugemine. *Sparkfun* AS7263 on spektromeeter, millega on võimalik mõõta ja iseloomustada, kuidas erinevad materjalid erinevatel lainepikkustel valgust neelavad ja peegeldavad. Spektromeeter tuvastab peegelduva valguse väärtuste erinevusi lähii infrapunakiirguse piirkonnas lainepikkustel 610, 680, 730, 760, 810 ja 860 nm. Valgusallikaks on led [10].

Kuna tegu on seadmega, mis mõõdab teelusid teatud distantssi kauguselt, on kasutusel peegeldumise põhimõttel olev infrapunaandur. Sellises anduris asuvad ühes korpuses infrapuna saatja kui ka vastuvõtja nii, et saatjast minev signaal peegeldub tagasi vastuvõtjasse (joonis 9). Peegelduva valguse suurus sõltub pinna peegeldumisvõimest. [11] Veel ja jääb on erinev spektri peegeldumisvõime infrapuna lähedus- ja keskmises piirkonnas. [12] Tänu sellele ongi võimalik mõõta erinevaid materjale. Kuiv-märg, vesi, lumi ja jää annavad erinevaid väärtusi, mille tõttu on võimalik pinda analüüsides aru saada millega tegu on.

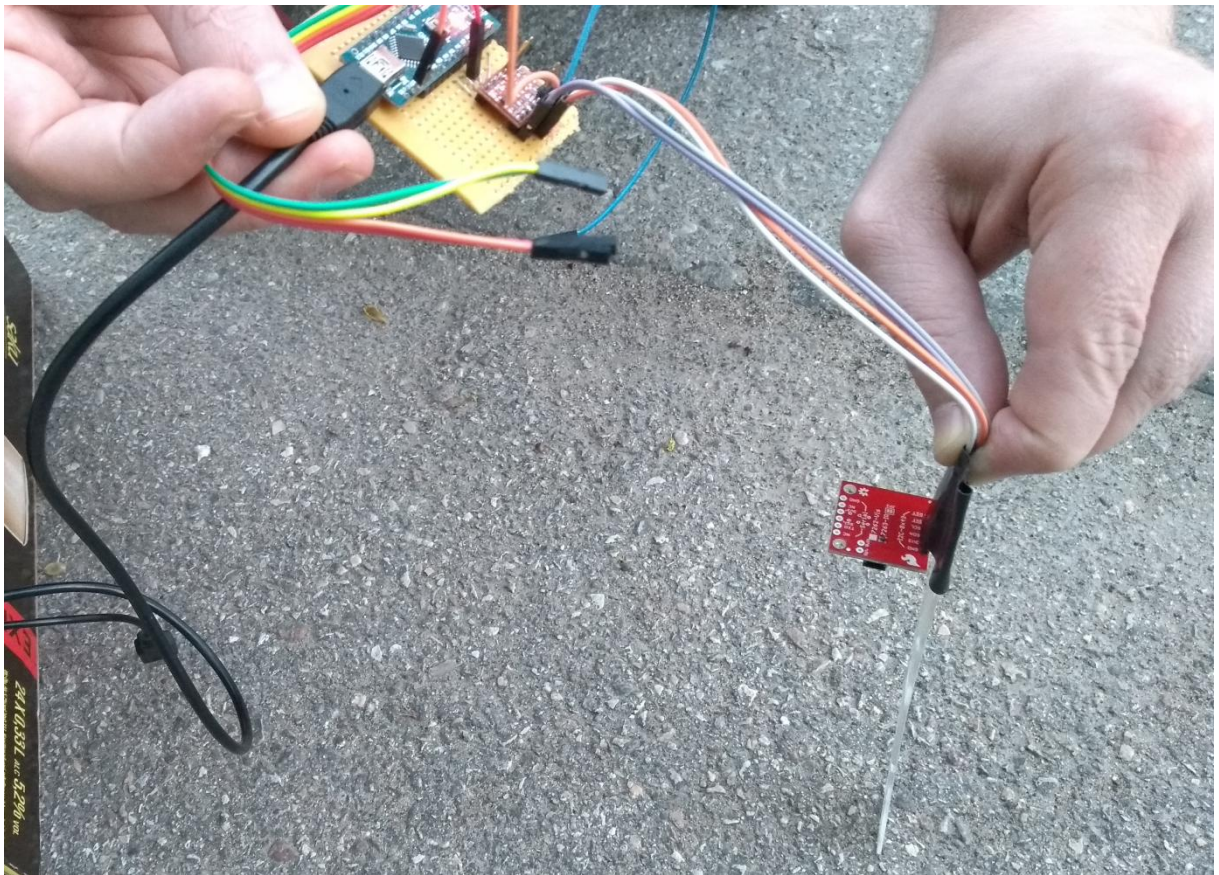


Joonis 9. *Sparkfun* AS7263 anduri tööpõhimõte [15].

Andur tuvastab kõiki kuut lainepikkust korraga, tänu millele saab selgesti eristatavaid tulemusi. Seetõttu on ilmastikutingimuste tuvastamine teekattel kergendatud, kuna kanalite omavaheline suhe teeb iga mõõdetud tulemuse eriliseks.

8. MÕÕTEMETOODIKA

Esmased katsed tehti statsionaarsed, et katsetada anduri toimetulemise võimekust. Anduri külge kinnitati joonlaud, et tagada mõõtetulemuste mõõtmiseks kindel kaugus. Kõrguseks valiti joonlauaga 20cm (joonis 10). Tulemuste analüüsimise käigus selgus, et kõrgus ei mängi erilist rolli, kuni kõik katsed on tehtud enam-vähem ühe kindla kõrguse pealt. Kõrgust muutes muutusid ka väärtuste andmed vastavalt kas kõrgemale või madalamale. Tuleb märkida, et erinevate lainepikkuste omavahelised suhted jäid paigale.



Joonis 10. Kuiva asfaldi katse, andur kinnitatud 20cm kõrgusele.

Katsete läbiviimiseks kasutati *Sparkfun*'i AS7236 vabavaralise tarkvarateegi esimest näidiskoodi [15]. Näidiskoodis kasutatud anduri funktsioon *printMeasurements()* väljastas andmed jadapordi kaudu Arduino IDE terminali kujul, mida oli raske andmete analüüsiks kasutada. Seetõttu koostati funktsioon *printValues()* tänu millele oli andmete töötlemine

lihtsam. Andmed kuvati nüüd väärtustena, mida oli võimalik Exceli tabelisse sisestada. Edasi kuvati ka graafikud. Koodi muudatus on välja toodud alljärgnevalt:

```
#include "AS726X.h"

AS726X sensor;

void setup() {
  sensor.begin();
}

void loop() {
  sensor.takeMeasurements();
  printValues();
}

inline void printValues() {
  Serial.print((String)sensor.getCalibratedR() + "\t");
  Serial.print((String)sensor.getCalibratedS() + "\t");
  Serial.print((String)sensor.getCalibratedT() + "\t");
  Serial.print((String)sensor.getCalibratedU() + "\t");
  Serial.print((String)sensor.getCalibratedV() + "\t");
  Serial.print((String)sensor.getCalibratedW() + "\t");
  Serial.println();
}}
```

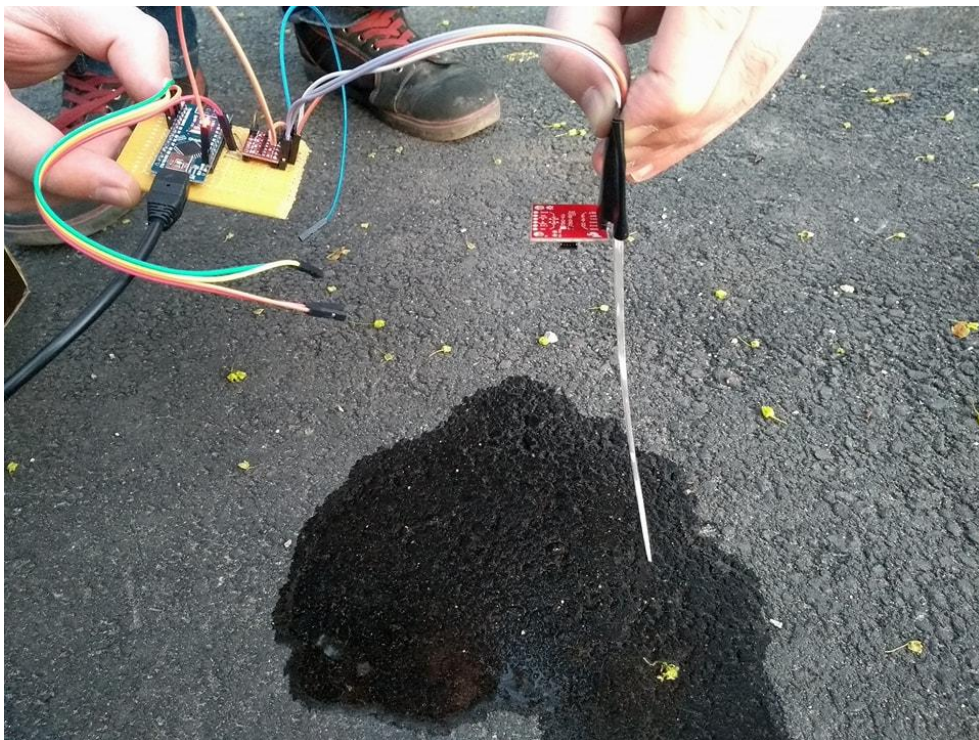
Andmed kuvati ja salvestati nüüd väärtustena arvutis, millest oli võimalik koostada Exceli põhised graafikud ja lugeda välja iga ilmastikuolu eripärasused, mistõttu on neid võimalik üksteisest eristada.

9. KATSED

9.1. Statsionaarsed katsed

Katsetati erinevaid materjale. Alustati kuivast asfaldist. Tehti mõõtmised ja seejärel kallati vett asfaldile, et tekitada (väga) märg ilmastikuolukord ning seejärel mõõdeti uuesti. Peale mõnda aega, kui enamik veest oli minema voolanud, jäi asfalt õrnalt märjaks. Seega tehti uus katse (joonis 11). Kuna asfaldid on erinevad, tehti mõõtmisi erinevatel asfalditüüpidel, uuel ja vanal asfaldil. Peale asfaldikatseid liiguti edasi kruusa peale, kus tehti samuti nii kuiva kui ka märja olukorra katsed.

Viimasena tehti katsed jää ja lumega. Talve jooksul koguti lumi õuest külmkappi karpi ning jää valmimiseks asetati vesi külmkappi. Õhukesed jäätükid paigutati asfaldile, et saaks talvise jääga ligilähedase tulemuse. Siiski pole see sama, mis talvel väljas, kuid andur mõõtis ilmastikuolu erinevuse teekattel välja. Lume mõõtmised tehti karbis oleva lumega. Kahjuks pole hetkel paremaid võimalusi lume ja jää katsete tegemiseks, kuid erinevused on selgelt välja mõõdetud.



Joonis 11. Statsionaarne märja asfaldi katse.

9.2. Sõidukatsed

Prototüüp paigutati auto külge nii, et anduri mõõtmistajur jäi maapinnast 45cm kõrgusele (joonis 12). Kuna autode kõrgused on erinevad, uuriti kuidas erinevad kõrgused sõidu pealt mõõtetulemusi mõjutavad. Täpselt samamoodi nagu statsionaarsete katsete puhul, selgus, et kõrgus ei mängi erilist rolli, sest kõrgust muutes muutusid ka väärtuste andmed vastavalt kas kõrgemale või madalamale, kuid erinevate lainepikkuste omavahelised suhted jäid paigale.



Joonis 12. Andur kinnitatud auto külge 45cm kõrgusele.

Prototüübi andur kinnitati auto külge kahepoolse teibiga. Toote edasiarendusena peab kindlasti mõtlema parema lahenduse peale. Kahepoolne teip hoidis andurit paigal ning katsete käigus probleeme ei tekkinud.

9.2.1. Sõidukatsed kuival asfaldil

Kuival asfaldil teostati sõidukatsed kiirustel 30km/h, 50km/h, 70km/h ning 90km/h. Igal kiirusel oli katse pikkus 60 sekundit. Katsete tegemiseks kiirendati vajaliku kiiruseni ning käivitati stopper. Andur pandi väärtusi mõõtma ning 60 sekundi möödumisel andmed salvestati. Andur oli paigaldatud teekattest 45cm kõrgusele (joonis 13).



Joonis 13. Katsed kuival asfaldil.

Mõõdetavaid väärtusi analüüsiti ning tulemuste põhjal koostati graafikud, mis on nähtavad tulemuste peatükis.

9.2.2. Sõidukatsed kruusal

Kruusal teostati sõidukatsed kiirustel 30km/h ja 50km/h. Katsete pikkus igal kiirusel oli samuti 60 sekundit. Katsete tegemiseks koguti vajalik liikumiskiirus ning käivitati stopper. Lülitati andur mõõtma väärtusi ning 60 sekundi möödumisel salvestati andmed. Andur oli paigaldatud 45cm kõrgusele teekattest (joonis 14).



Joonis 14. Katsed kruusal.

Mõõdetavaid väärtusi analüüsiti ning tulemuste põhjal koostati graafikud, mis on nähtavad tulemuste peatükis.

9.2.3. Sõidukatsed märjal asfaldil

Märjal asfaldil teostati sõidukatseid kiirustel 0–90km/h aeglaselt ja sujuvalt kiirendades. Katse pikkuseks oli 120 sekundit. Katse alguses käivitati stopper ning koguti hoogu. Sõideti umbes 30 sekundit 30km/h, seejärel kiirendati 50km/h ning sõideti jällegi 30 sekundit. Sama tehti ka edasistel kiirustel 70km/h kuni 90km/h. 120 sekundi möödumisel salvestati andmed. Andur oli paigaldatud 45cm kõrgusele teekattest (joonis 15).



Joonis 15. Katsed märjal asfaldil.

Mõõdetavaid väärtuseid analüüsiti ning tulemuste põhjal koostati graafikud, mis on nähtavad tulemuste peatükis.

9.2.4. Sõidukatsed lumega

Lume katsete läbiviimiseks soetati lumi Tartu Lõunakeskuse liuvälja jäämasina kogumispunktist. Kuna lund polnud palju võtta, saadi katsete läbiviimiseks 8m pikkuse lumeriba, millest üle sõites mõõdeti vajalikke andmeid (joonis 16). Katsed teostati kiirustel 10 km/h 30m jooksul, sest lume kogus oli piiratud. Katse pikkuseks oli 10 sekundit. Andur oli paigaldatud 45cm kõrgusele teekattest.



Joonis 16. Katsed lumega.

Katse alguses mõõdeti kuiva asfaldi, seejärel mõõdeti lund ning seejärel uuesti kuiva asfaldi. Mõõdetavaid väärtusi analüüsiti ning tulemuste põhjal koostati graafikud, mis on nähtavad tulemuste peatükis.

9.2.5. Sõidukatsed pimedas

Pimedas läbi viidud katsetel selgus koheselt, et anduri valgust peegeldav LED-lamp on arvatavasti liiga nõrk ning mõõdetud väärtused kuvati nullidena. Anduril on aga olemas pistik võimsama LED-lambi ühendamiseks olukordade jaoks, kus anduri küljes oleva LED-lambi võimsus jääb liiga nõrgaks. Kahjuks ei jäänud lõputöö esitamise tähtaja lähenedes aega vajaliku lisa LED-lambi soetamiseks ning katsete tegemiseks. Andur oli paigaldatud 45cm kõrgusele teekattest (joonis 17).



Joonis 17. Katsed pimedas.

Kuna tulemusi ei saanud, ei olnud võimalik analüüsi teha ning graafikut koostada.

10. TULEMUSED

10.1. Statsionaarse katse tulemused

Tulemustest on näha, et iga keskkonna puhul tekib kindel korrapärasus (joonis 18).

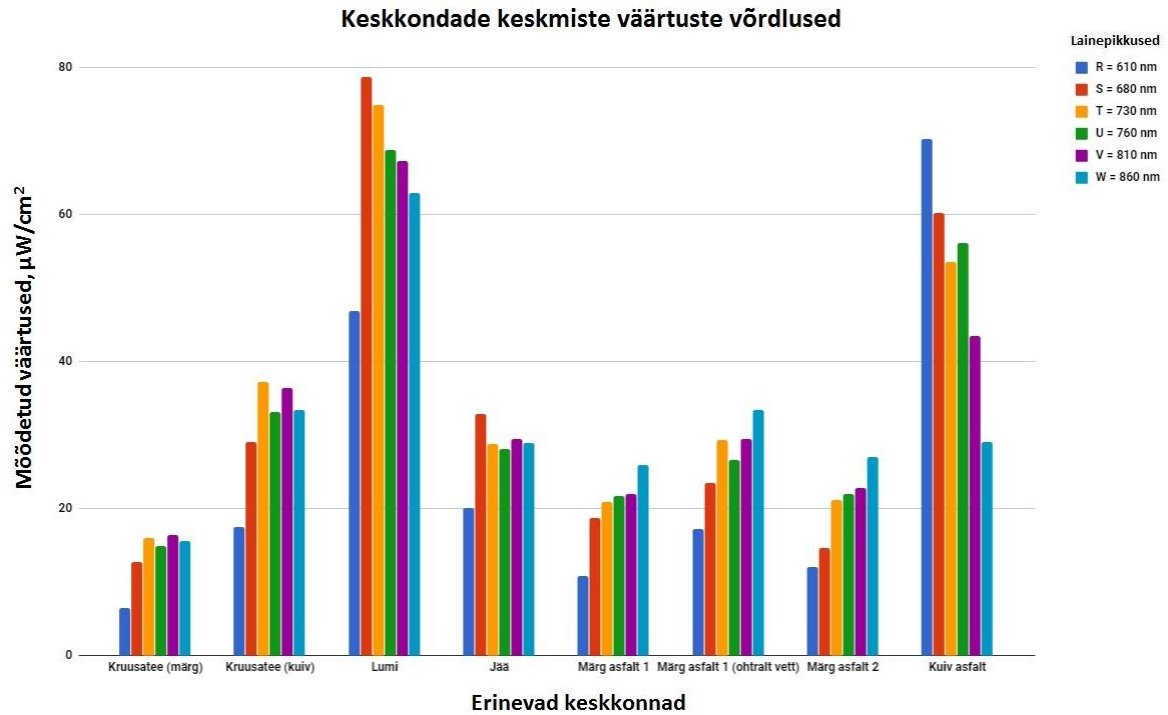
Märja kruusatee katsete väärtused on teistest palju madalamad, seda on ka graafikul selgelt näha. Kuiva kruusatee tulemused on küll veidi kõrgemad, kuid mõlema kruusatee graafiku juures paneb tähele, et kollane lainepikkus 730 nm ja lilla lainepikkus 810 nm on teistest väärtustest kõrgemad ning tumesinine lainepikkus 610 nm teistest madalamad. Selgelt saab eristada kruusateed.

Lume puhul on eristatavaks väga suureväärtuselised tulemused ja teistest kõigist kõrgem punane lainepikkus 680 nm ja madal sinine lainepikkus 610nm. Teiste lainepikkuste väärtused kahanevad korrapäraselt.

Jää puhul on samuti punane lainepikkus 680 nm teistest kõrgem ja tumesinine 610 nm teistest madalam, kuid ülejäänud lainepikkused on peaaegu sama väärtusega, mis teeb ta teistest jällegi eristatavaks.

Märja asfaldi puhul katsetati erinevaid asfalditüüpe (uus ja kulunud vana). Kaks katset tehti märja pinnasega ja üks väga rohke veega. Graafikult on näha, et nende korrapärasus on ühesugune isegi erinevate asfaltide puhul. Väga märja asfaldi juures aga on väike erinevus tekkinud. Selle väärtused on esiteks teistest märgadest tulemustest suuremad ja korrapärasus on erinev.

Kuiva asfaldi lainepikkuste väärtused on kõik alates madalamast kasvavas järjekorras. Seetõttu on ka see väga selgelt eristatav keskkond.



Joonis 18. Keskkondade keskmiste tulemuste väärtuste võrdlused.

Tänu selgele keskkondade eristatavusele on kirjutati vajalik kood, mille abil tuvastati teekattel olev ilmastikuolu ning kuvati tulemus mobiiltelefonis.

10.2. Sõidukatsete tulemused

Sõidukatsete läbiviimiseks kinnitati prototüübi anduri osa maapinnast 45 cm kõrgusele auto tagumise stange külge. Mõõtmised tehti erinevatel kiirustel ning erineva aja vältel. Katsete käigus tuvastati erinevaid pindasid: kuiv asfalt, märg asfalt, kuiv kruus ning lumi. Kahjuks on käesoleval aastaajal jää katsete tegemine raskendatud.

Tulemuste väljatoomiseks koostati esialgsete mõõtmiste põhjal graafikud. Kuna andurist saadud signaalis esineb palju müra ja häiringuid, kasutati signaali filtreerimiseks liikuva keskmise funktsiooni. Oma olemuselt on liikuv keskmine lõpliku siirdega filter. Liikuv keskmine ehk libisev keskmine on statistikas kasutatav andmeanalüüsi meetod, mille käigus koostatakse uus andmeseeria võttes keskmisi väärtusi algse andmeseeria kindla suurusega osahulkadest. Iga punkti liikuva keskmise leidmiseks eemaldatakse eelnevast osahulgast esimene element ning lisatakse lõppu järgmine [28].

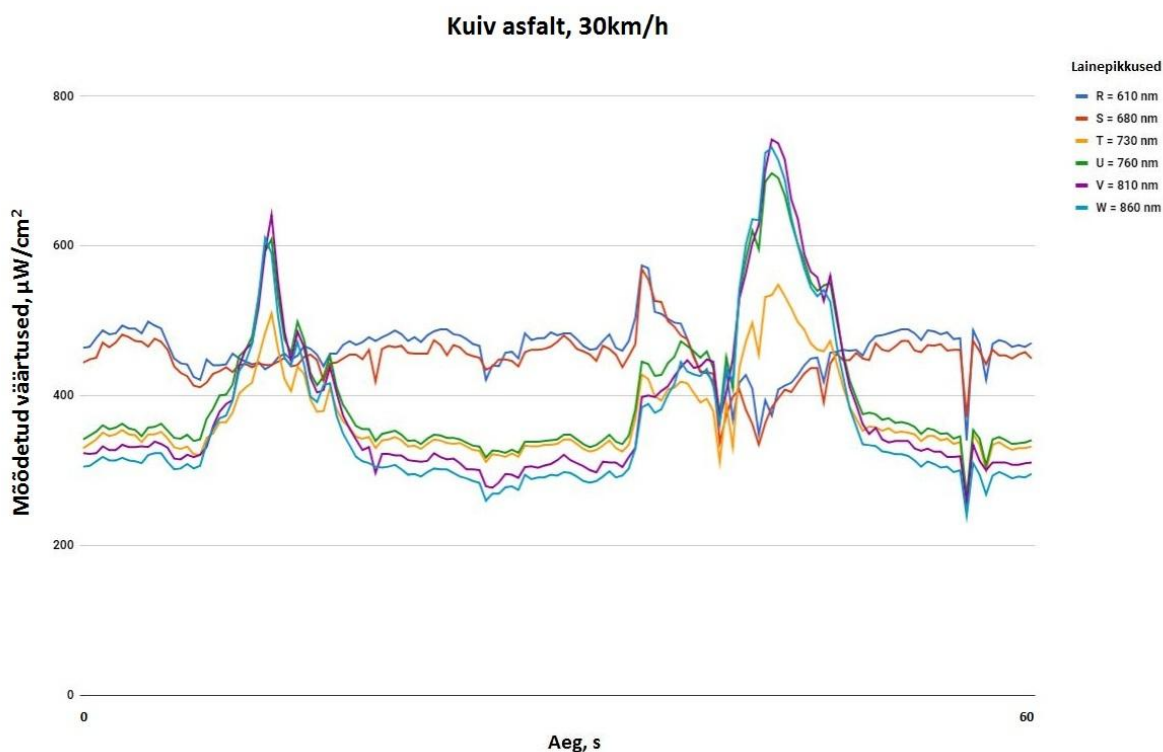
Saadud punktidest joonistub esialgse signaaliga võrreldes sujuvam joon, milles puuduvad lühikesed ja kiired hüpped. Sellise signaali kasutamine pinnase tuvastamisel tõstab seadme töö stabiilsust. Puuduseks on see, et pinnase tuvastamine on võimalik alles siis, kui signaali muutused avaldavad liikuvale keskmisele piisavalt mõju, et keskmised oluliselt muutuks. Seega toimub pinnase tuvastamine teatud ajalise viivitusega. Viivituse pikkus sõltub sellest, kui suurt osahulka andmetest liikuva keskmise leidmiseks kasutada. Lisaks kulub mikrokontrolleril suurema osahulga keskmiste arvutamiseks rohkem aega, mis tähendab, et selle võrra kasvab ka lugemite võtmise vaheline aeg. Mida väiksem on osahulk, millest keskmist arvutatakse, seda kiiremini on signaalis võimalik muutusi tuvastada. See aga suurendab häirete mõju liikuvale keskmisele. Käesolevas töös tuletati optimaalne osahulga suurus katselisel teel ning selleks on 5.

10.2.1. Kuiv asfalt

Kuiva asfaldi puhul tehti katsed enim kasutusel olevate kiiruspiirangutega 30 km/h, 50 km/h, 70 km/h ning 90 km/h. Mõõdetud väärtusi analüüsiti ning tulemuste põhjal koostati graafikud.

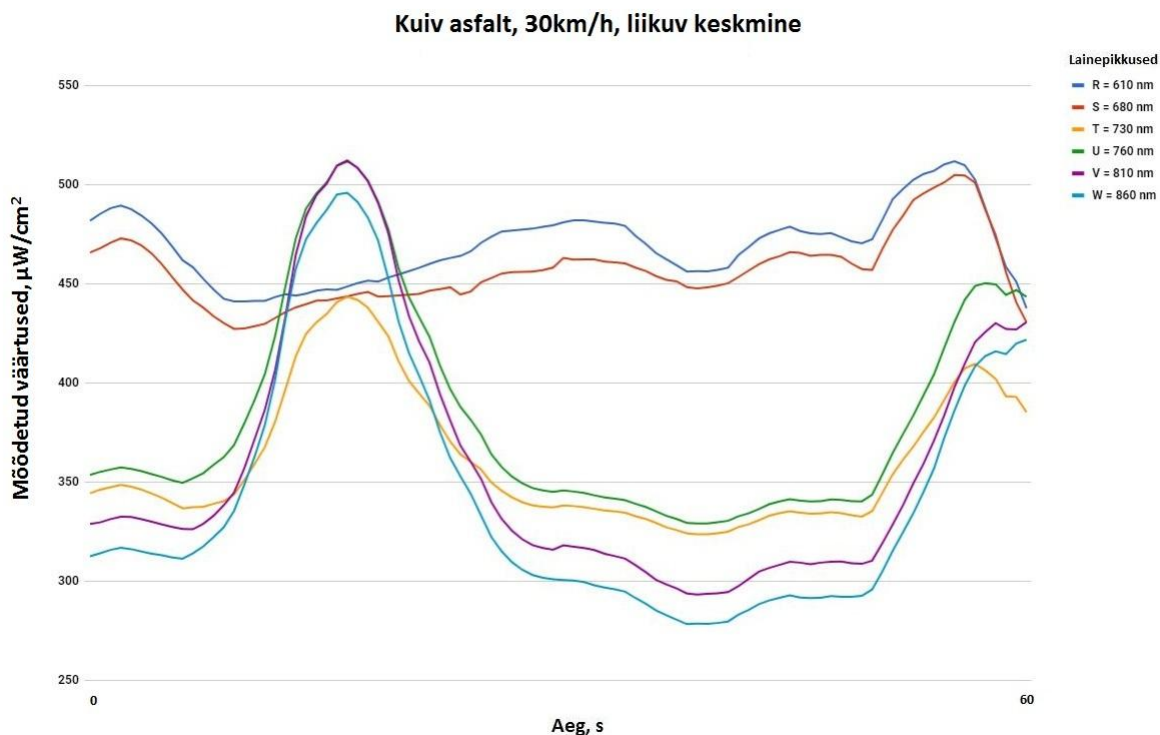
10.2.1.1. Kiirus 30km/h

Mõõdetud tulemuste põhjal on näha, et kuiv asfalt on tuvastatav kahte erinevat varianti (joonis 19). Esimese variandina näeme, et lainepikkused R ja S on teistest lainepikkustest kõrgema väärtusega. Teise variandina näeme aga, et lainepikkused R ja S on just vastupidi teistest lainepikkustest madalama väärtusega, vahepeal on lainepikkus T ning ülejäänud lainepikkused on juba kõrgema väärtusega. Hiljem programmeeritud koodi testimise käigus selgus, et kuiva asfaldi vahepeale kuvas telefon hetkeks ka teisi teelusi. Arvatavasti juhtub see kahe erineva variandi mõõtmistulemuste ristumisel, kus lainepikkuste väärtused satuvad samale skaalale ning see tekitab segadust. Probleemi lahendamiseks võiks kasutada järelteste ja ettepanekute peatükis välja toodud värvianduri lisamise lahendust. Kahe erineva variandi tekkepõhjuseks on arvatavasti teekatte materjalist tulenevalt peegelduva valguse erinevus või näiteks päikesevalguse erinevusest tekkivad varjud. Mõõtmised on tehtud 60 sekundi jooksul.



Joonis 19. Kuiva asfaldi katsete tulemused 30 km/h.

Programeerimiseks vajalikke tunnusjoonte saamiseks tuli singaali siluda. Vajalike andmete saamiseks kasutati liikuva keskmise (*moving average*) funktsiooni. See andis liikuvad kümne lugemi keskmised väärtused, mille abil koostati uued graafikud (joonis 20).

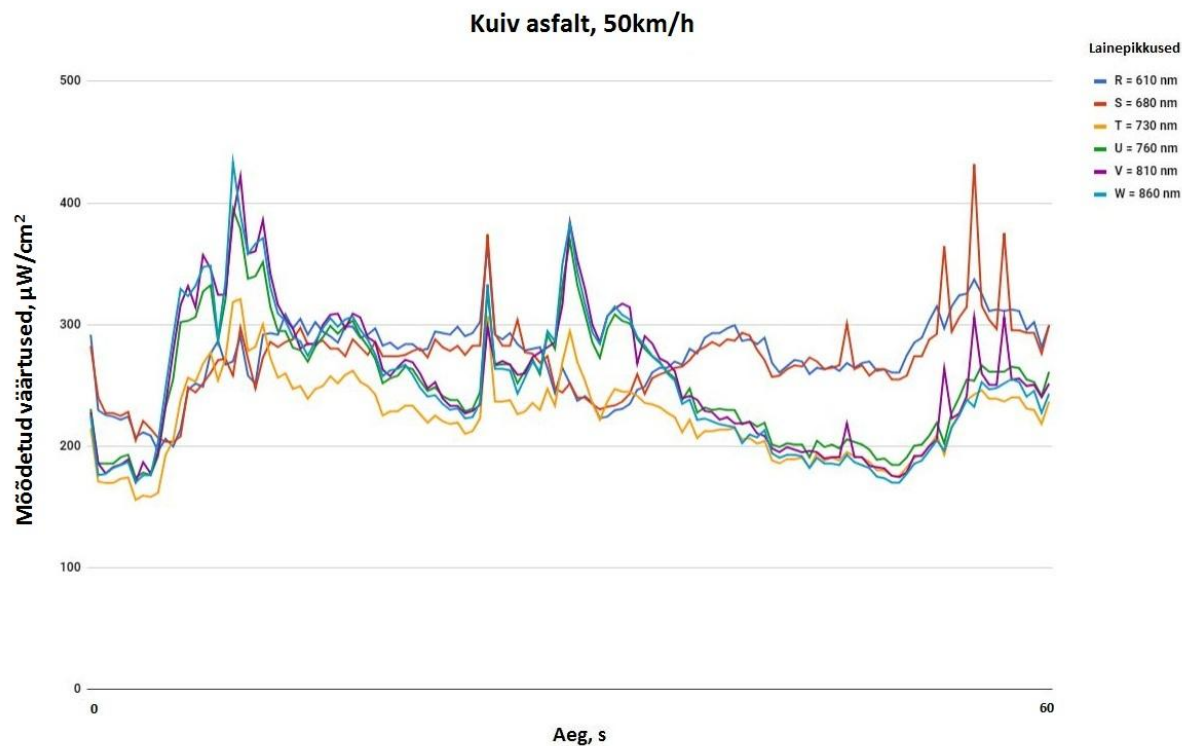


Joonis 20. Kuiva asfaldi katsete tulemused 30 km/h, liikuv keskmine.

Tulemusena muutus andmete mõõtmise müra vähemaks ning tekkis sujuvam signaal, mistõttu oli lihtsam programmeerida.

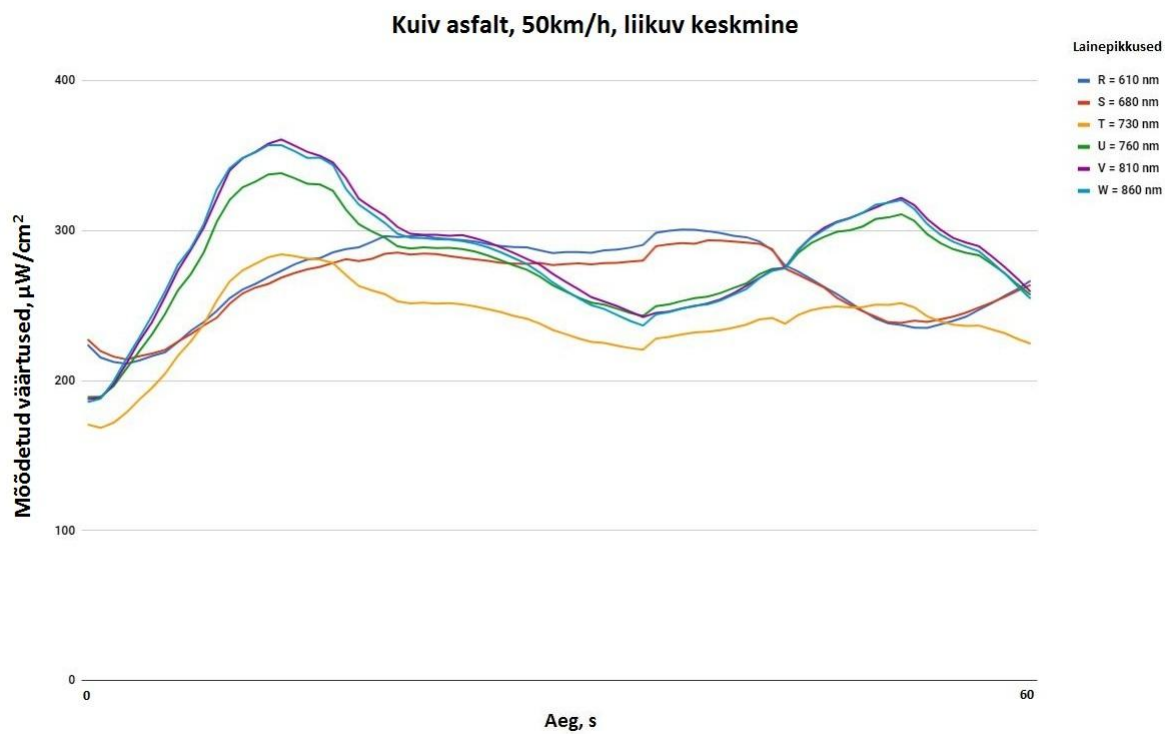
10.2.1.2. Kiirus 50km/h

Täpselt nagu 30 km/h, on ka siin kahte sorti eristatavus, kuid müra on kõvasti rohkem (joonis 21). Probleem on samasugune ning värvianduri lisamine seadmele aitaks kindlasti, et ei tekiks teiste pindadega segi ajamist. Kõrgemale sööstvad signaalid on tekkinud päikesevalgusest. Mõõtmised on tehtud 60 sekundi vältel.



Joonis 21. Kuiva asfaldi katsete tulemused 50 km/h.

Liikuva keskmise funktsiooni kasutades saame uue graafiku (joonis 22).

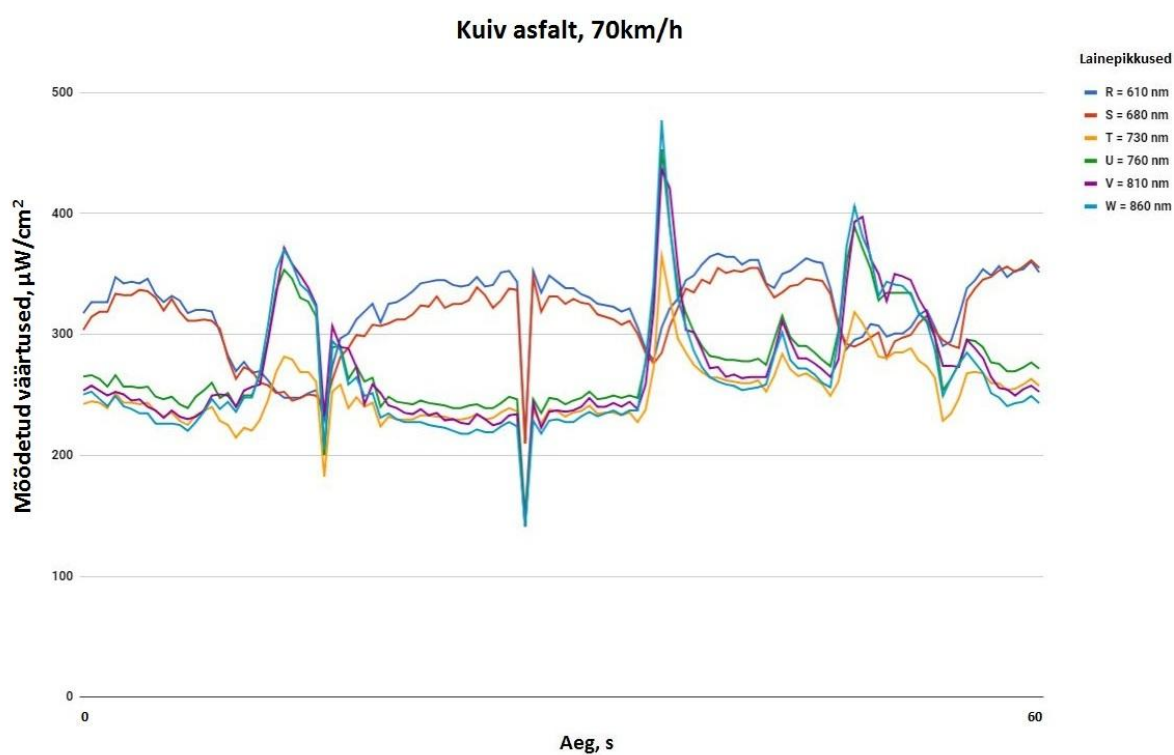


Joonis 22. Kuiva asfaldi katsete tulemused 50 km/h, liikuv keskmine.

Tulemuste põhjal näeme kahte eristatavust. Lainepikkustel R ja S mõõdetud tulemusi kõige kõrgemal ning samas ka kõige madalamal.

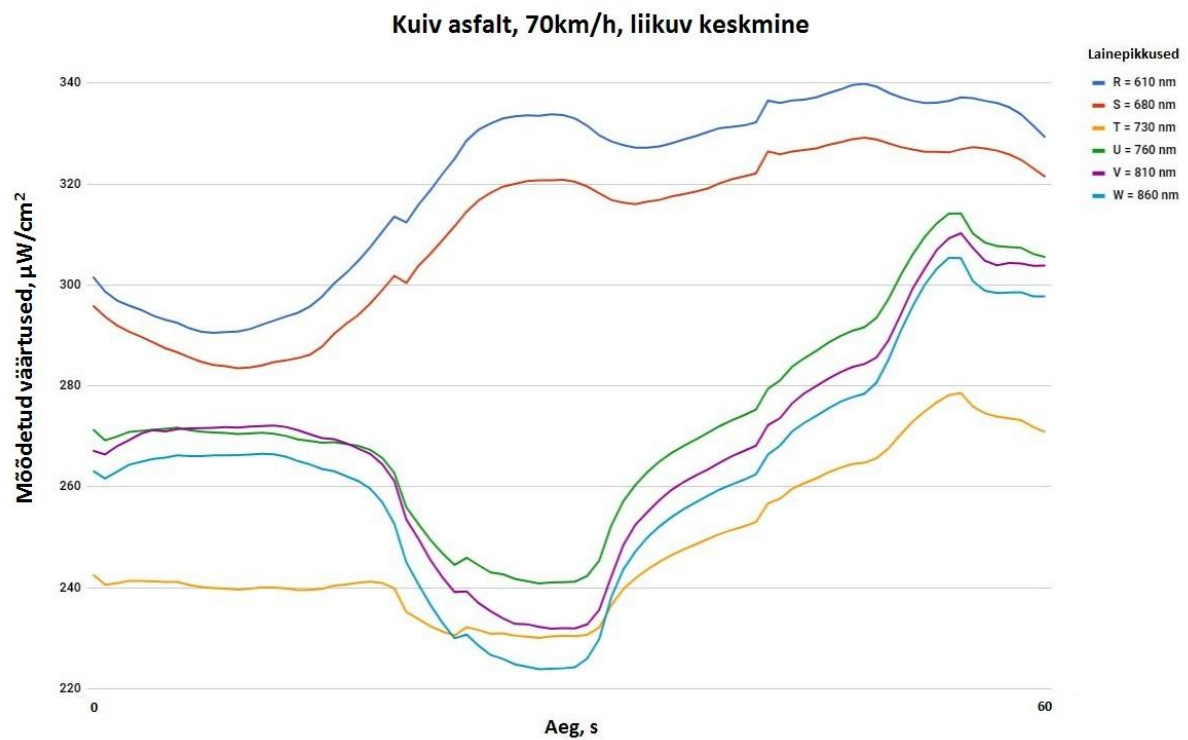
10.2.1.3. Kiirus 70km/h

Kiiruse kasvades jäävad tulemused samaks. Ülespoole sööstvad signaalid tulenevad päikesest ja allapoole tumedamate varjudest. Eristatavad on jällegi kaks olukorda: lainepikkus R ja S on teistest kõrgemal või siis vastupidi (joonis 23).



Joonis 23. Kuiva asfaldi katsete tulemused 70 km/h.

Kasutades liikuva keskmise funktsiooni saame uue graafiku (joonis 24). Alates 70 km/h on kasutatud liikuva kolmekümne lugemi keskmisi väärtuseid.

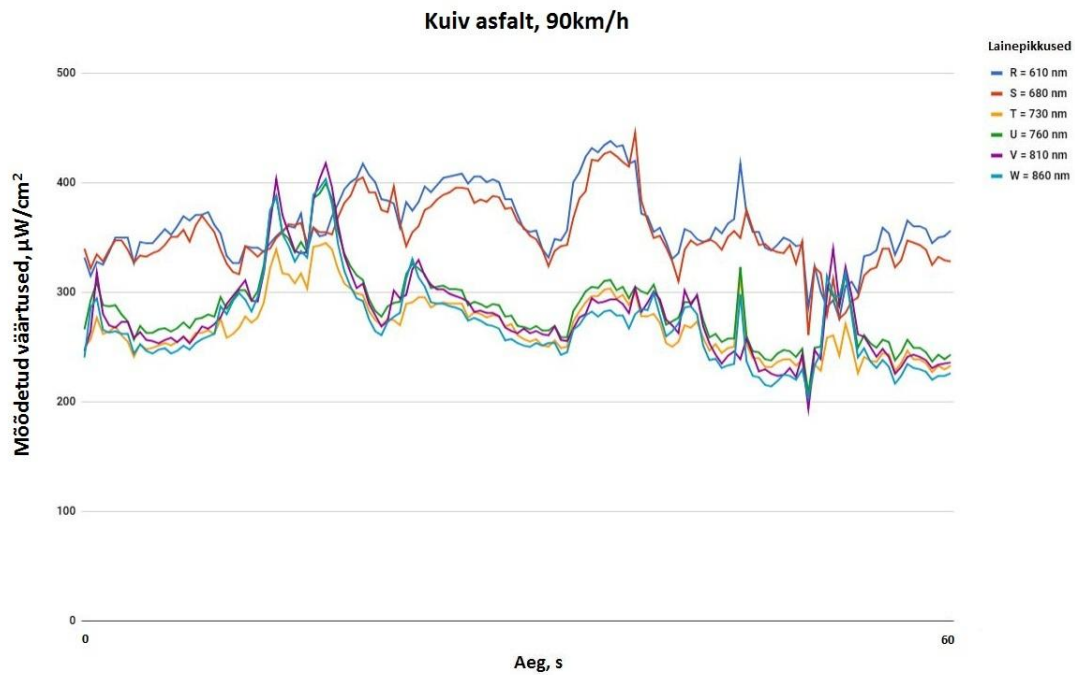


Joonis 24. Kuiva asfaldi katsete tulemused 70 km/h, liikuv keskmine.

Uusi signaalivorme ei teki.

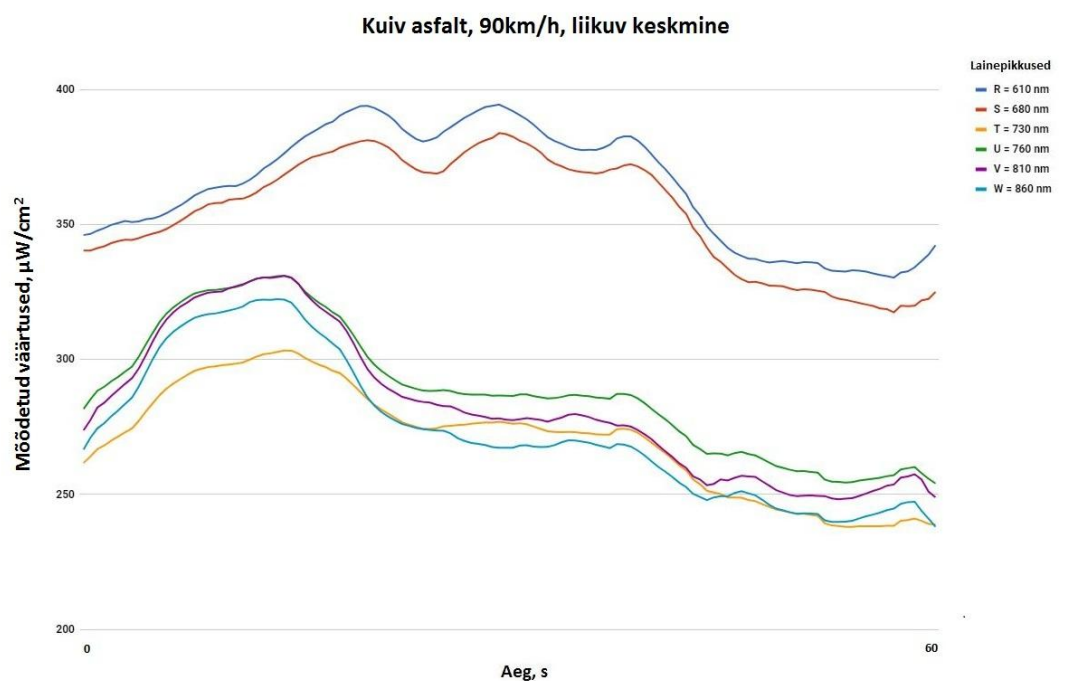
10.2.1.4. Kiirus 90km/h

Ka kiirusel 90 km/h tekivad kahte moodi tulemused. Eristatavaks jäävad teistest lainepikkustest kõrgemal olevad mõõtmised lainepikkustel R ja S (joonis 25).



Joonis 25. Kuiva asfaldi katsete tulemused 90 km/h.

Liikuva keskmise funktsiooni kasutades saame uue graafiku (joonis 26). Samuti on kasutatud liikuva kolmekümne lugemi keskmisi väärtuseid.

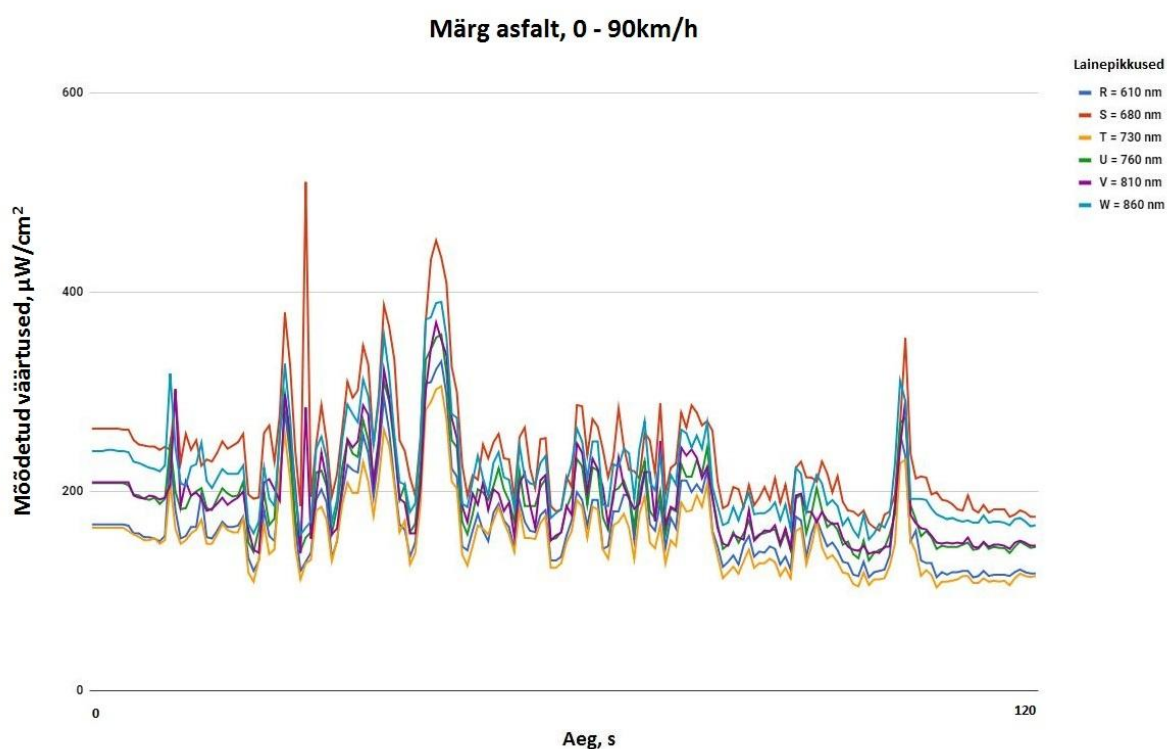


Joonis 26. Kuiva asfaldi katsete tulemused 90 km/h, liikuv keskmine.

Eristatavus mõõdetulemuste vahel on väga selge.

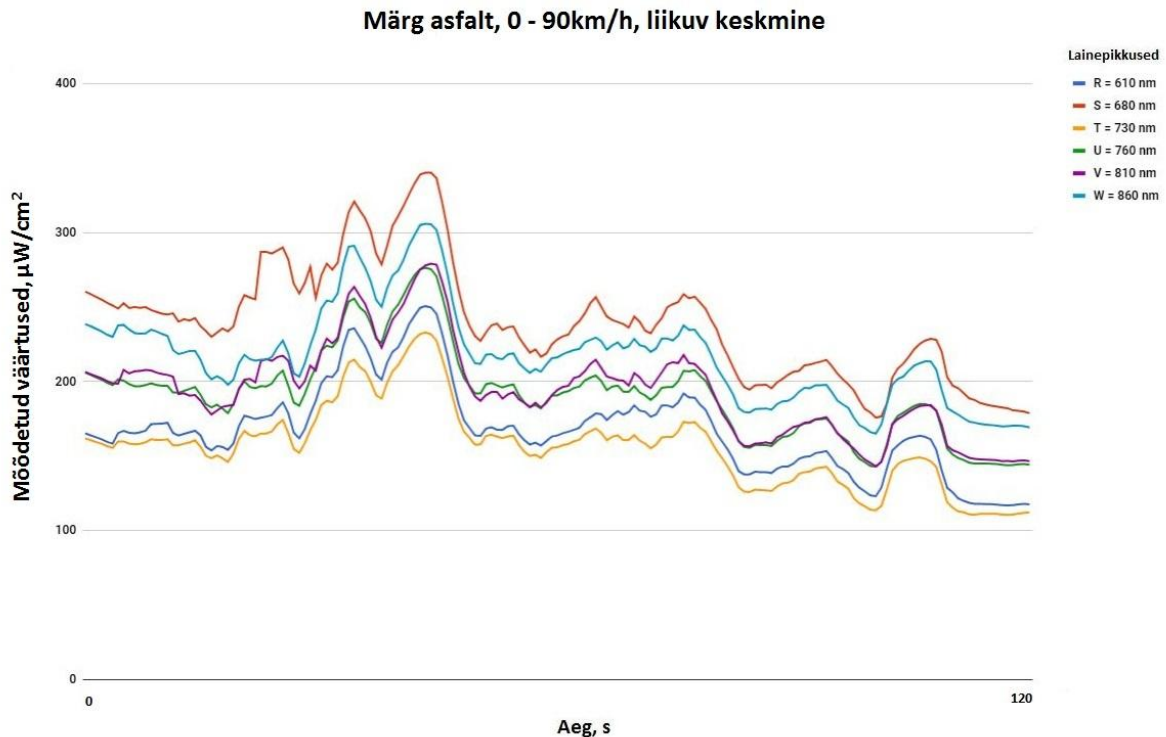
10.2.2. Märg asfalt

Märjal asfaldil teostati sõidukatsed kiirustel 0–90 km/h aeglaselt ja sujuvalt kiirendades. Katse pikkuseks oli 120 sekundit. Tulemusi vaadates on lainepikkuste omavaheline suhe küll enam-vähem paigal, kuid arvatavasti on tee ääres olevate puude varjud ning päikesevalguse korrapäratus toonud tulemustesse järsud hüpped sisse (joonis 27).



Joonis 27. Märja asfaldi katsete tulemused 0–90 km/h.

Tähele tuleb panna asjaolu, et lainepikkused liiguvad kõik koos üles ja alla, mistõttu teepinna tuvastamisel probleemi ei teki. Kasutades liikuva keskmise funktsiooni saame uue graafiku (joonis 28).



Joonis 28. Märja asfaldi katsete tulemused 0–90 km/h, liikuv keskmine.

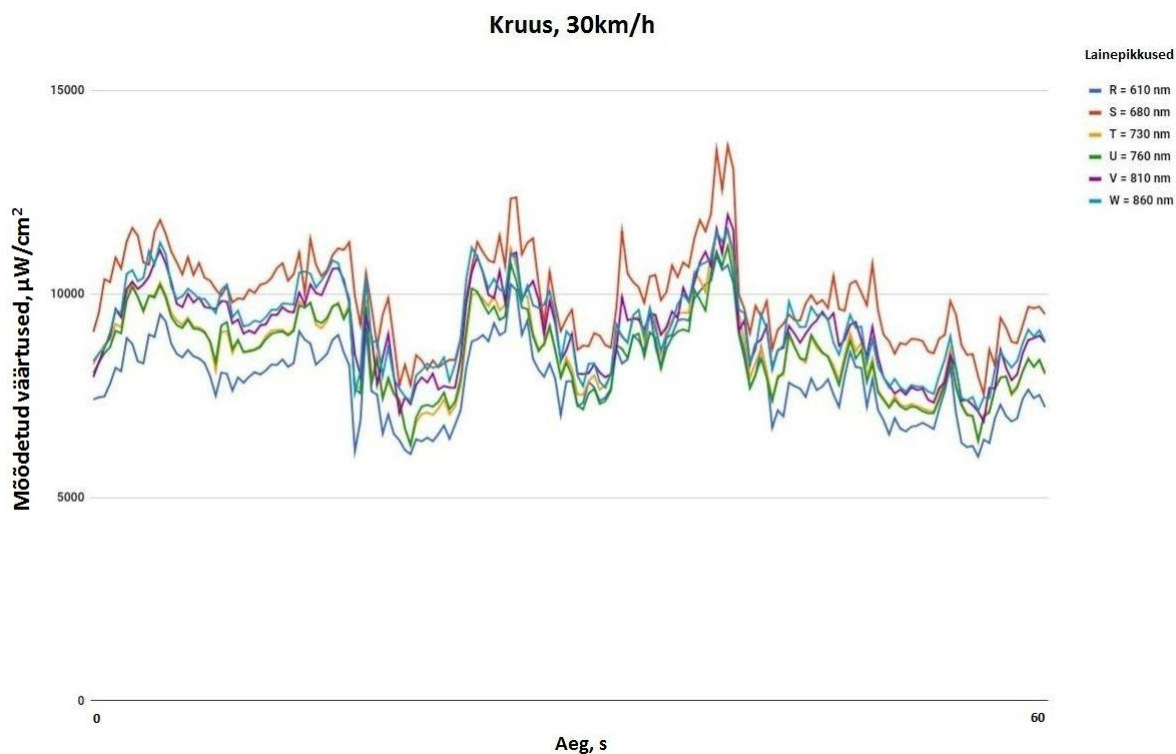
Liikuva keskmisega koostatud silutud signaali põhjal oli võimalik vajalik info tuvastamiseks programmeerida. Võrreldes kuiva asfaldiga, kus lainepikkused R ja S olid kõrvuti kõige kõrgemate väärtustega, langeb märja puhul lainepikkus R alumisse otsa ning lainepikkus T on kõige madalam, mistõttu on ta selgelt eristatav kuivast asfaldist, lumest kruusast ning jääst.

10.2.3. Kruus

Katsed kruusaga on tehtud kuival pinnal kiirustel 30 km/h ning 50 km/h, mõlemad 60 sekundi jooksul. Kuna kuiva ja märja asfaldi ning käesolevate kruusa katsetulemuste põhjal ei muutnud kiirus lainetepikkuste omavahelisi suhteid, ei näinud autor vajadust suurematel kiirustel katseid teha. Mõõdetud väärtusi analüüsiti ning tulemuste põhjal koostati graafikud.

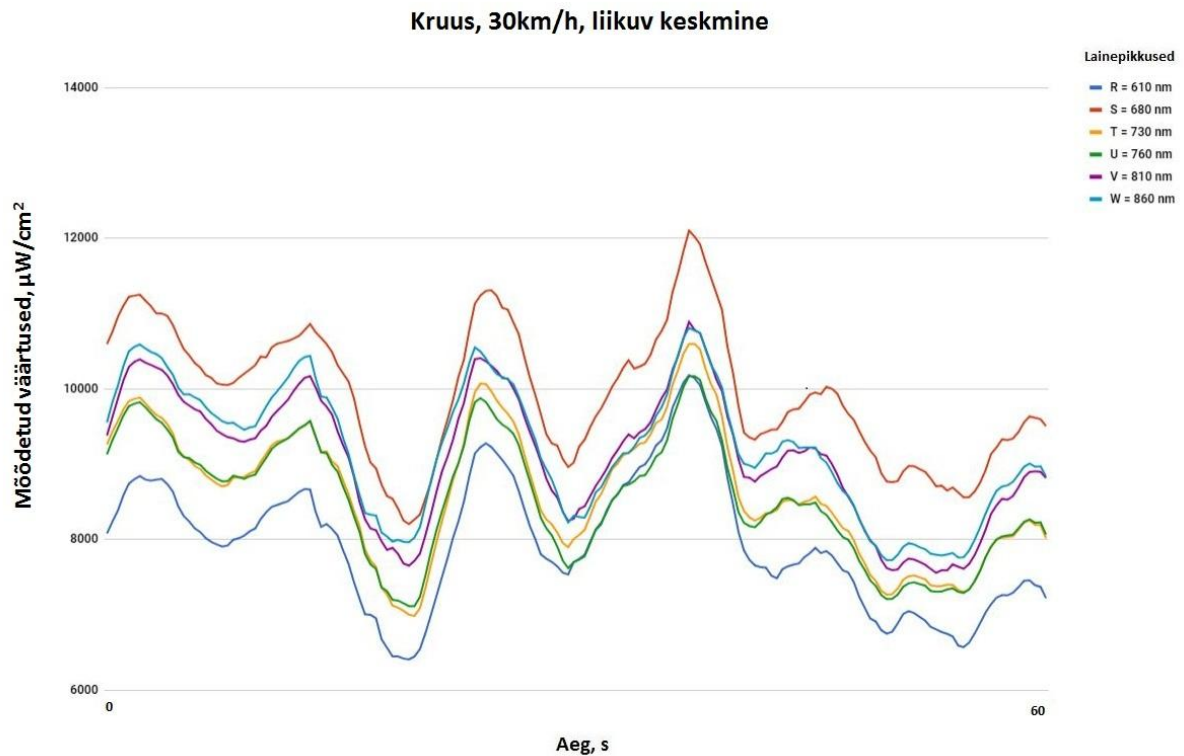
10.2.3.1. Kiirus 30km/h

Kruusa teeb teistest teekatetest eristatavaks teistest kõrgema väärtusega olev lainepikkus S ning madalama väärtusega lainepikkus R. Jällegi on arvatavasti päikesevalguse korrapäratus ning varjud mänginud rolli, kuid lainepikkuste omavahelised suhted on jäänud enam-vähem paigale (joonis 29).



Joonis 29. Kuiva kruusa katsete tulemused 30 km/h.

Liikuva keskmise funktsiooni kasutades saame uue graafiku (joonis 30).

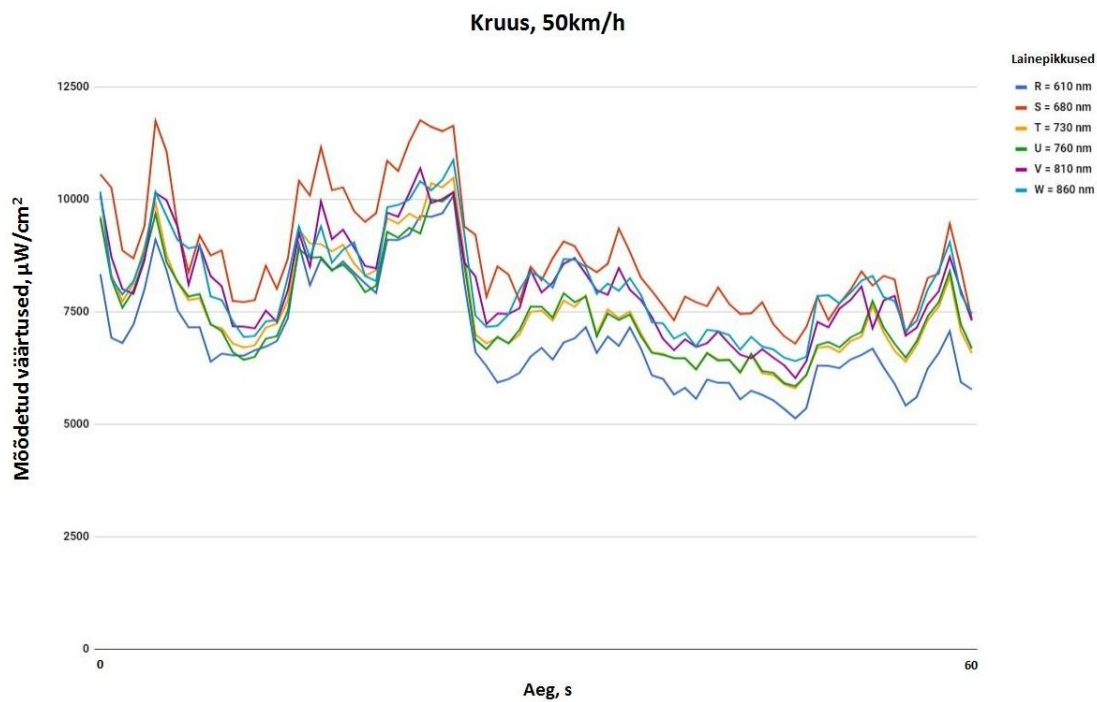


Joonis 30. Kuiva kruusa katsete tulemused 30km/h, liikuv keskmine.

Graafik joonistub väga ilusti välja, mistõttu on kruus teistest eristatav.

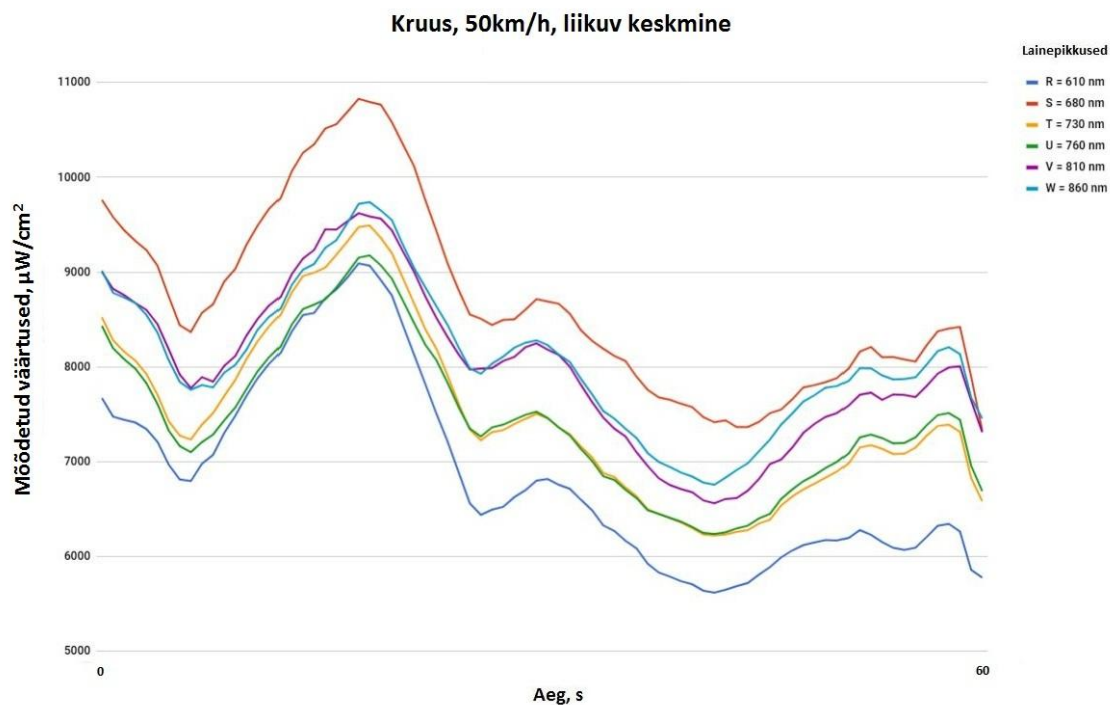
10.2.3.2. Kiirus 50km/h

Kiirusel 50 km/h pole erilist muutust võrreldes kiirusega 30 km/h. Samamoodi on varjudest tulenevad kõikumised sees, kuid lainepikkuste omavahelised suhted on paigas (joonis 31).



Joonis 31. Kuiva kruusa katsete tulemused 50 km/h.

Liikuva keskmise funktsiooni kasutades saame uue graafiku (joonis 32).

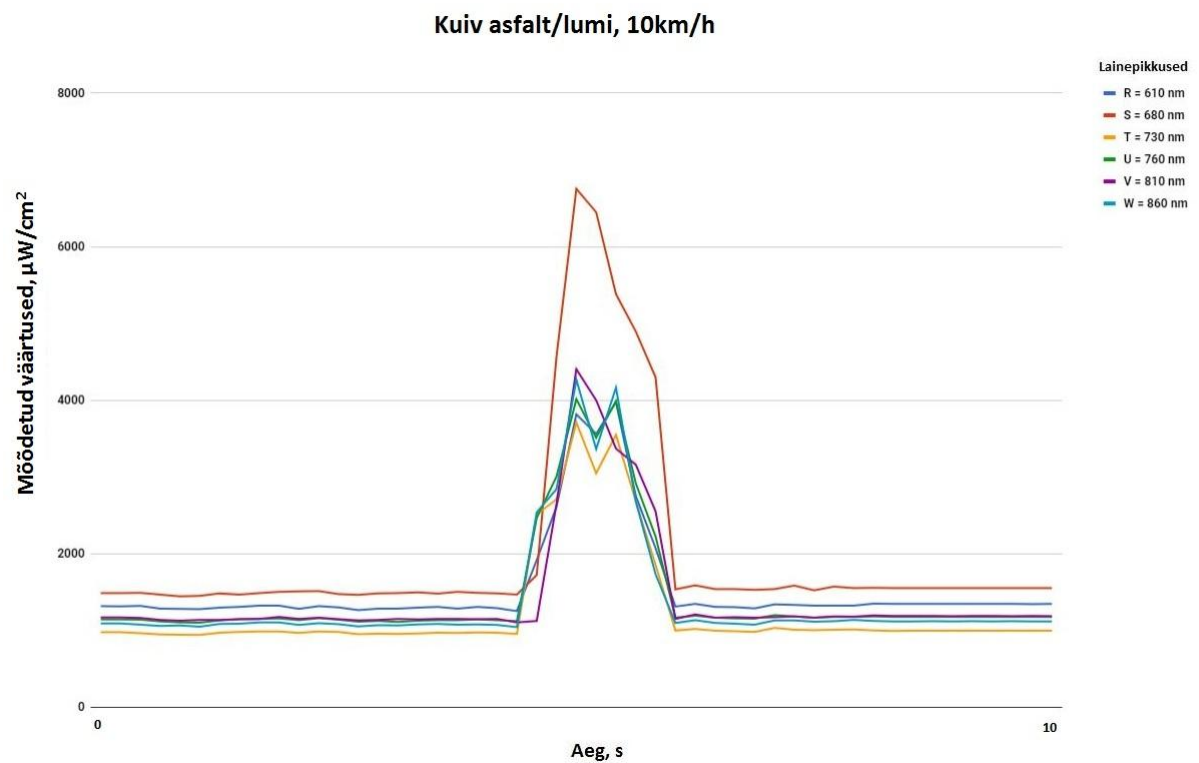


Joonis 32. Kuiva kruusa katsete tulemused 30 km/h, liikuv keskmine.

Eristatavus erinevate lainepikkuste vahel on väga selge.

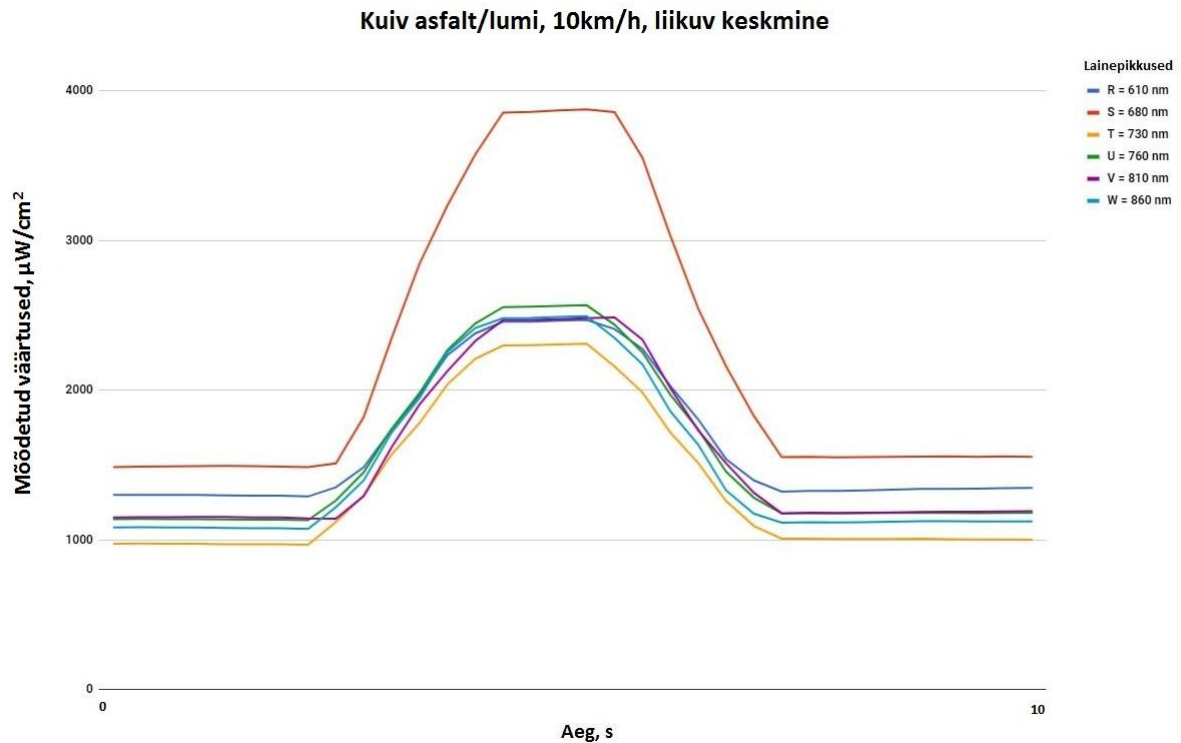
10.2.4. Lumi

Lumega katsete läbiviimiseks hangiti vajalik lumi Tartu Lõunakeskuse liuvälja jäämasina kogumispunktist. Kuna lund ei olnud palju võtta, asetati asfaldile katsete läbiviimiseks 8m pikkune lumeriba, millest üle sõites mõõdeti vajalikke andmeid. Tulemustest on näha, kuidas võrreldes kuiva asfaldiga suureneb lainepikkus S väärtus teistega võrreldes peaaegu kahekordseks (joonis 33). Esineb omadus, mida teistel materjalidel pole.



Joonis 33. Kuiva asfaldi/lume katsete tulemused 10 km/h.

Liikuva keskmise funktsiooni kasutades saame uue graafiku (joonis34).

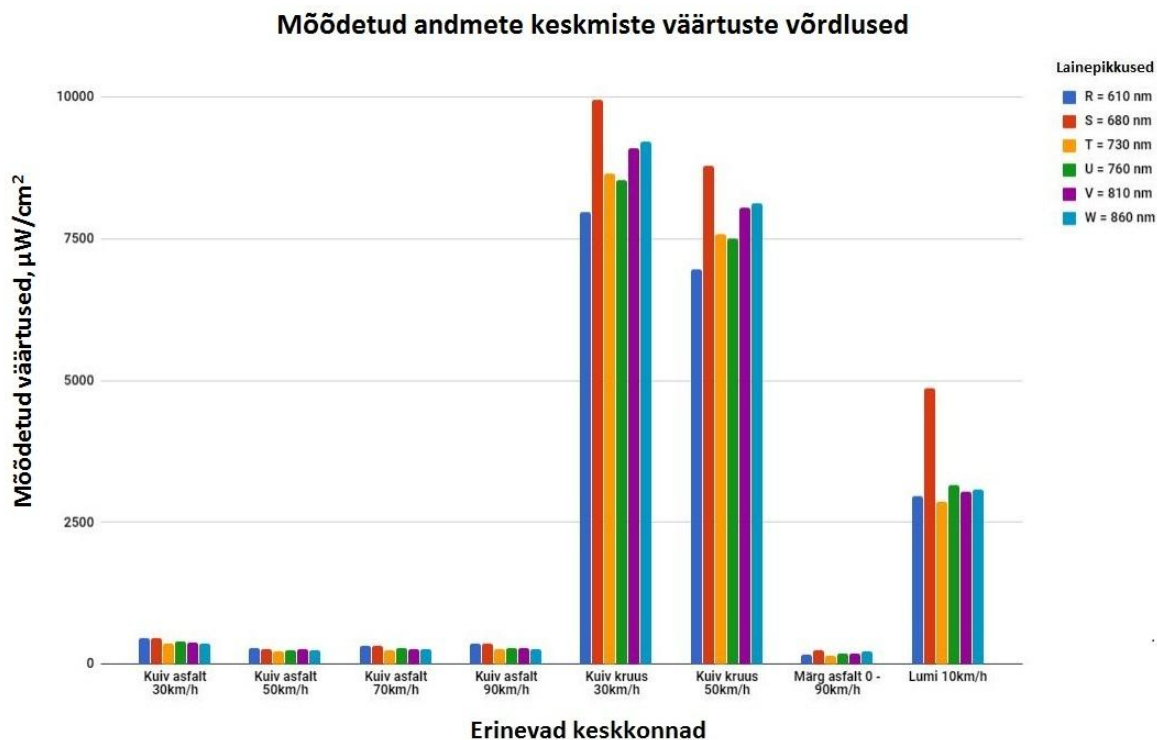


Joonis 34. Kuiva asfaldi/lume katsete tulemused 10 km/h.

Graafik joonistub väga ilusti välja, mistõttu on lume tuvastamine teistest eristatav.

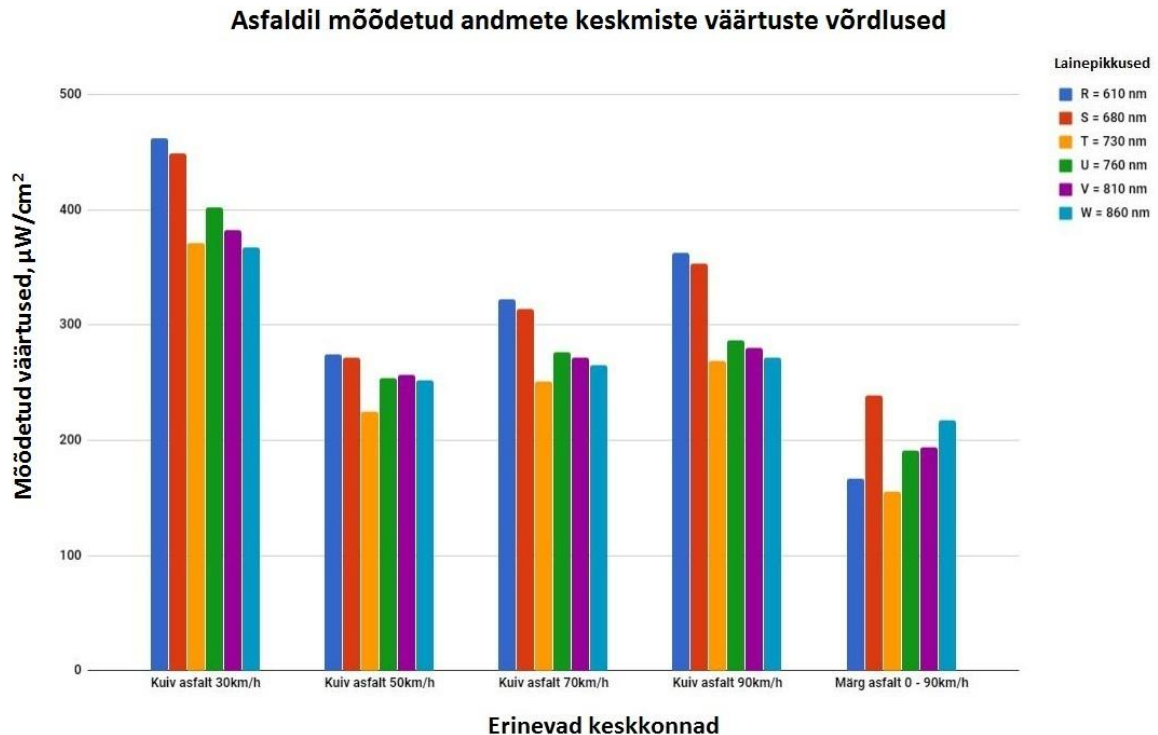
10.2.5. Keskmiste väärtuste võrdlused

Võttes andmete tulemustest keskmised väärtused, saame graafiku (joonis 35). Graafikult saame välja lugeda, et kruusa ning lume väärtused on asfaldi omast kõrvasti kõrgemad. Arvatavasti tuleneb see erinevatel aegadel tehtud katsetest. Nimelt asfaldi katsed on tehtud õhtupoolikul ning kruusa ja lume katsed päevase päikese käes. Valguse tugevus aga mõjutab spektromeetri mõõtetulemusi.



Joonis 35. Mõõdetud andmete keskmiste väärtuste võrdlus.

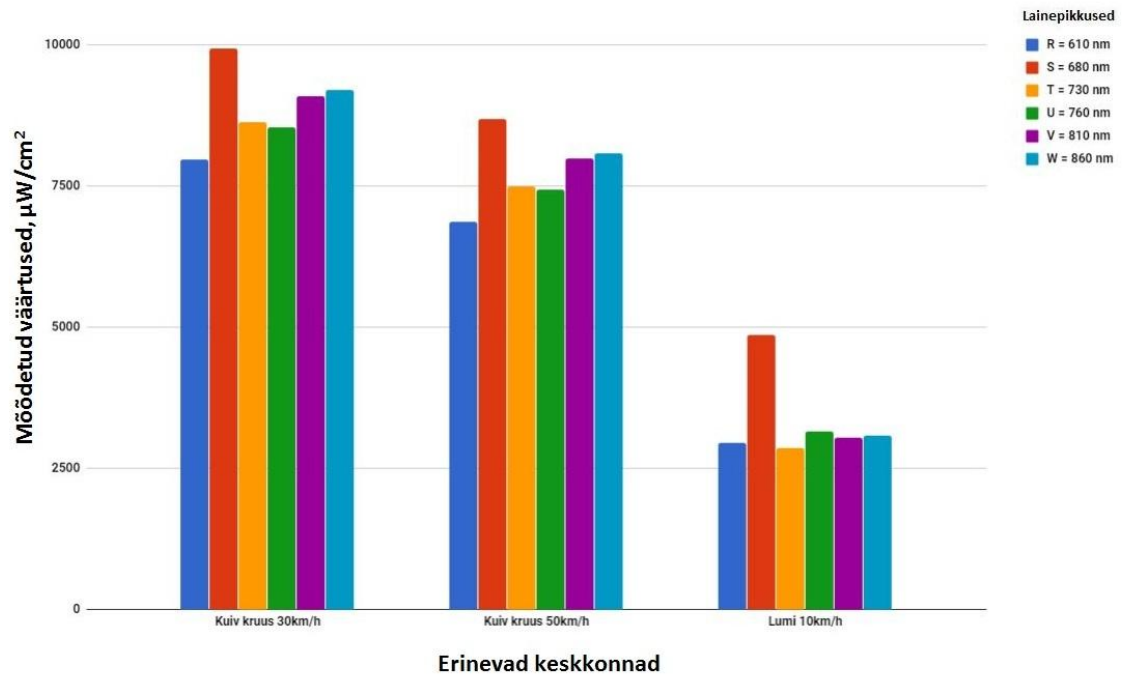
Et eelneval graafikul olevad tulemused nähtavale tuua, koostati asfaldil mõõdetud andmete keskmiste väärtuste võrdlusgraafik (joonis 36). Jooniselt saame välja lugeda, et kiirus ei mõjuta erinevatel lainepikkustel mõõdetud andmete omavahelisi suhteid. Kuiva asfaldi eripäraks on kõikidel kiirustel kõrgeimad olevad lainepikkused R ja S. Märja asfaldi tulemusi vaadates näeme, et lainepikkusel S kuvatavad väärtused on tõusnud kõige kõrgemale ning lainepikkusel W olevad väärtused teisel kohale. Kõige madalamate tulemustega kujunes välja lainepikkusel T mõõdetud tulemused. See on üks asjaolu, mistõttu saab kuiva ning märga asfaldit teistest pindadest selgelt eristada.



Joonis 36. Asfaldil mõõdetud andmete keskmiste väärtuste võrdlus.

Logaritmilise skaalana toodi välja ka kruusa ja lume mõõdetud andmete keskmiste väärtuste võrdlused (joonis 37). Samuti nagu asfaldi puhul, on näha, et kruusal olevate katsete kiirused ei mõjuta erinevatel lainepikkustel mõõdetud andmete omavahelisi suhteid. Kruusa teeb teistest teekatetest eristatavaks kõige madalama tulemusega lainepikkusel R mõõdetud väärtused ning kõige kõrgema tulemusega lainepikkusel S mõõdetud väärtused. Lume puhul on näha, et lainepikkusel S mõõdetud tulemused on teistest peaaegu kaks korda kõrgemate väärtustega. Ülejäänud lainepikkustel mõõdetud tulemused on peaaegu samade väärtustega. Esineb teistest pindadest eristatav olukord.

Kruusa ja lume mõõdetud andmete keskmiste väärtuste võrdlused



Joonis 37. Kruusa ja lume mõõdetud andmete keskmiste väärtuste võrdlused.

Tulemuste põhjal on näha, et igal pinnal on erinevad parameetrid. Erinevate kiiruste, teekatete seisukorra, varjude jms asjaolude tõttu võib mõnes olukorras juhtuda, et erinevate pindade mõõdetavad väärtused on liiga sarnased. Selle probleemi parandamiseks on järelduste ja ettepanekute peatükis toodud välja mitmeid lahendusi.

11. VALEMID JA ARVUTUSED

Alljärgnevalt on välja toodud pidurdusteeakonna arvutused kiirustel 90 km/h, 70 km/h, 50 km/h ja 30 km/h.

11.1. Pidurdusteeakonna arvutused

Võttes keskmise auto massiks 1500 kg, saame erinevatel kiirustel ja ilmastikutingimustel välja tuua auto pidurdusteeakonna [13].

Keskmise auto mass $m = 1500\text{kg}$

Haardetegur u [14]:

Kuiv tee - 0,7 Märg/libe tee - 0,45 Lumi - 0,3 Jää - 0,1

Auto omab kineetilist energiat, mille avaldis on järgnev:

$$E_k = \frac{mv^2}{2} \quad (11.1.)$$

kus E_k on kineetiline energia, J

m - mass, kg

v - kiirus, m/s

Kui auto pidurdab seismajäämiseni, kulub hõõrdejõust tekkinud kineetiline energiatöö tegemiseks. Hõõrdejõu töö on:

$$A = F_H * s = umg * s \quad (11.2.)$$

kus A on hõõrdejõu töö, J

F_H - hõõrdejõu suurus, N

s - pidurdusteeakond, m

u - haardetegur

g - raskuskiirendus, m/s^2

Kui kogu kineetiline energia kulub hõõrdejõu töö tegemiseks, peavad need suurused olema järelikult võrdsed:

$$E_k = A \quad (11.3.)$$

$$\frac{mv^2}{2} = umg * s \quad (11.4.)$$

Siit saame avaldada pidurdusteeconna pikkuse s:

$$\frac{v^2}{2ug} = s \quad (11.5.)$$

Seega, kiirusel 90 km/h oleks pidurdusteeconna pikkus:

Kuival teel:

$$s = \frac{\left(25\frac{m}{s}\right)^2}{2*0.7*9.8\frac{m}{s^2}} \approx 46m \quad (11.6.)$$

Märjal teel:

$$s = \frac{\left(25\frac{m}{s}\right)^2}{2*0.45*9.8\frac{m}{s^2}} \approx 71m \quad (11.7.)$$

Lumel:

$$s = \frac{\left(25\frac{m}{s}\right)^2}{2*0.3*9.8\frac{m}{s^2}} \approx 106m \quad (11.8.)$$

Jääl:

$$s = \frac{\left(25\frac{m}{s}\right)^2}{2*0.1*9.8\frac{m}{s^2}} \approx 319m \quad (11.9.)$$

Reaalses olukorras tuleb arvestada, et tervel inimesel kulub ohule reageerimiseks ja pedaalile vajutamiseks umbes 0,5 s. Seega kiirusel 25 m/s tähendab reaktsiooniaeg 0,5 s seda, et reageerimiseks kuluva aja jooksul liigub auto edasi 12,5 m. See tuleb pärisituatsioonis liita eelpool toodud pidurdusteeconnade pikkusele.

Kiirusel 70 km/h oleks pidurdusteedkonna pikkus:

Kuival teel:

$$s = \frac{\left(19.4 \frac{m}{s}\right)^2}{2 * 0.7 * 9.8 \frac{m}{s^2}} \approx 27m \quad (11.10.)$$

Märjal teel:

$$s = \frac{\left(19.4 \frac{m}{s}\right)^2}{2 * 0.45 * 9.8 \frac{m}{s^2}} \approx 43m \quad (11.11.)$$

Lumel:

$$s = \frac{\left(19.4 \frac{m}{s}\right)^2}{2 * 0.3 * 9.8 \frac{m}{s^2}} \approx 64m \quad (11.12.)$$

Jääl:

$$s = \frac{\left(19.4 \frac{m}{s}\right)^2}{2 * 0.1 * 9.8 \frac{m}{s^2}} \approx 192m \quad (11.13.)$$

Reaalses olukorras tuleb arvestada, et tervel inimesel kulub ohule reageerimiseks ja pedaalile vajutamiseks umbes 0,5 s. Seega kiirusel 19,4 m/s tähendab reaktsiooniaeg 0,5 s seda, et reageerimiseks kuluva aja jooksul liigub auto edasi 9,7 m. See tuleb pärisituatsioonis liita eelpool toodud pidurdusteedkondade pikkusele.

Kiirusel 50 km/h oleks pidurdusteedkonna pikkus:

Kuival teel:

$$s = \frac{\left(13.9 \frac{m}{s}\right)^2}{2 * 0.7 * 9.8 \frac{m}{s^2}} \approx 14m \quad (11.14.)$$

Märjal teel:

$$s = \frac{\left(13.9 \frac{m}{s}\right)^2}{2 * 0.45 * 9.8 \frac{m}{s^2}} \approx 22m \quad (11.15.)$$

Lumel:

$$s = \frac{\left(13.9 \frac{m}{s}\right)^2}{2 * 0.3 * 9.8 \frac{m}{s^2}} \approx 33m \quad (11.16.)$$

Jääl:

$$s = \frac{\left(13.9 \frac{m}{s}\right)^2}{2 * 0.1 * 9.8 \frac{m}{s^2}} \approx 98m \quad (11.17.)$$

Reaalses olukorras tuleb arvestada, et tervel inimesel kulub ohule reageerimiseks ja pedaalile vajutamiseks umbes 0,5 s. Seega kiirusel 13,9 m/s tähendab reaktsiooniaeg 0,5 s seda, et reageerimiseks kuluva aja jooksul liigub auto edasi 6,95 m. See tuleb pärisituatsioonis liita eelpool toodud pidurdusteedkondade pikkusele.

Kiirusel 30 km/h oleks pidurdusteedkonna pikkus:

Kuival teel:

$$s = \frac{\left(8.3 \frac{m}{s}\right)^2}{2 * 0.7 * 9.8 \frac{m}{s^2}} \approx 5m \quad (11.18.)$$

Märjal teel:

$$s = \frac{\left(8.3 \frac{m}{s}\right)^2}{2 * 0.45 * 9.8 \frac{m}{s^2}} \approx 8m \quad (11.19.)$$

Lumel:

$$s = \frac{\left(8.3 \frac{m}{s}\right)^2}{2 * 0.3 * 9.8 \frac{m}{s^2}} \approx 12m \quad (11.20.)$$

Jääl:

$$s = \frac{\left(8.3 \frac{m}{s}\right)^2}{2 * 0.1 * 9.8 \frac{m}{s^2}} \approx 35m \quad (11.21.)$$

Reaalses olukorras arvestada, et tervel inimesel kulub ohule reageerimiseks ja pedaalile vajutamiseks umbes 0,5 s. Seega kiirusel 8,3 m/s tähendab reaktsiooniaeg 0,5 s seda, et reageerimiseks kuluva aja jooksul liigub auto edasi 4,15 m. See tuleb pärisituatsioonis liita eelpool toodud pidurdusteedkondade pikkusele.

12. PROGRAMMEERIMINE

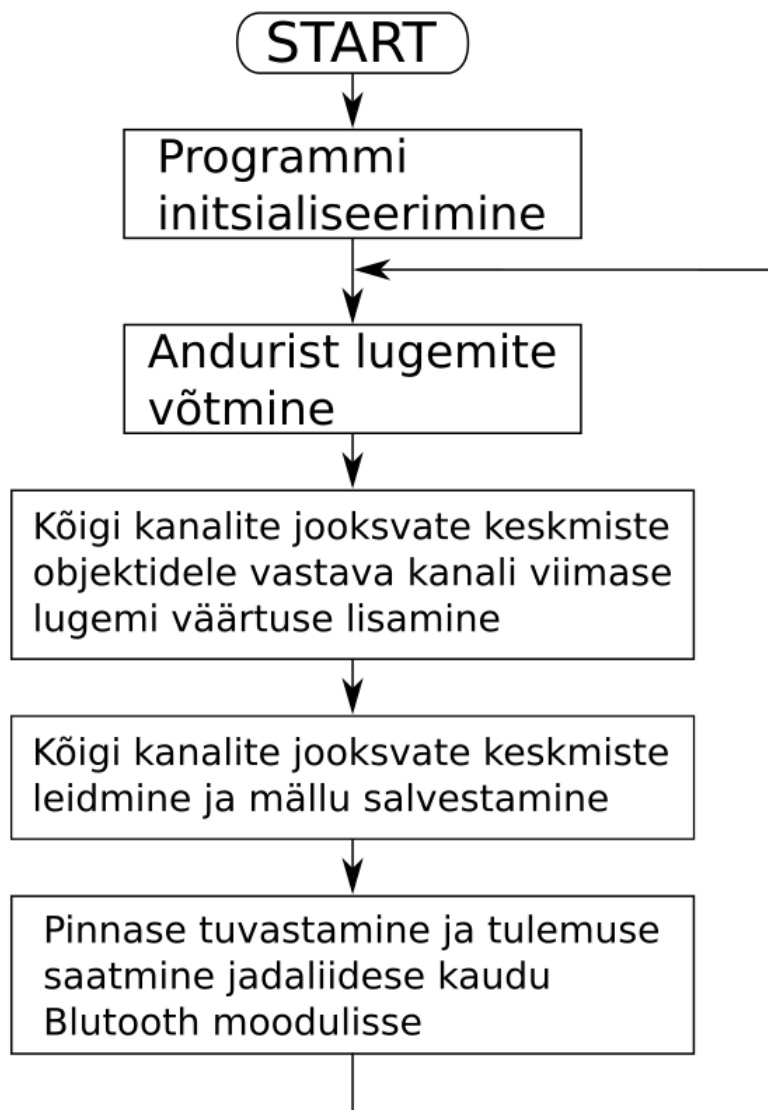
Seadme juhtmooduliks valitud Arduino NANO mikrokontrollerit programmeeritakse C++ programmeerimiskeeles. Selleks, et Arduinole C++ koodi kirjutada, seda masinkoodiks kompileerida ning programmi mikroprotsessori programmimällu laadida, kasutatakse Arduino IDE't.

Spektromeetri mooduliga suhtlemiseks ja mõõtmistulemuste salvestamiseks läheb vaja Sparkfun'i AS726X vabavaralist tarkvarateeki. Teine vajalik teek, RunningAverage, mille kood on samuti vabalt kasutatav, on jooksva keskmise funktsionaalsuse juurutamiseks [29]. Selleks, et nende teekide funktsioone kasutada saaks, tuleb mõlema teegi päisefail kohe programmi alguses kaasata:

```
#include "RunningAverage.h" // Jooksva keskmise funktsionaalus
#include "AS726X.h"          // Sparkfun'i AS726X tarkvarateek
```

Järgmiseks koostati põhiprogrammi algoritm (joonis 38). Programmi initialiseerimiseks deklareeritakse ja lähtestatakse programmis kasutatavad konstandid ning muutujad, seadistatakse jadakommunikatsioon Bluetooth'i mooduliga suhtlemiseks ja luuakse uus anduri objekt. Pärast seda sisenetakse programmi põhitsükklisse, mis kujutab endast lõputut tsüklit.

```
void loop(void)
{
    get_channel_averages(); // Anduri kanalitest lugemite võtmine
                           //ja jooksvate keskmiste puhvrise salvestamine
    detect_surface();       // Pinnase tuvastamine
}
```

Joonis 38. Põhiprogrammi algoritm

Põhitsükli käigus kutsutakse välja funktsioonid `get_channel_averages()` ja `detect_surface()`, millest esimene vastutab andurist väärtuste lugemise ja jooksva keskmise arvutamise eest ning teine kutsutakse välja pinnase tuvastamiseks ja tulemuse saatmiseks Bluetooth'i moodulisse.

Kutsudes välja funktsiooni `get_channel_averages()`, antakse andurile käsk tagastada kõikide kanalite mõõtmistulemused I^2C abil. Tulemused salvestatakse automaatselt anduri objekti `sensor`.

```
sensor.takeMeasurements(); // andurist kõikide kanalite lugemite võtmine
```

Kasutades meetodit *addValue()*, lisatakse kõikide kanalite lugemid jooksvate keskmiste objektidele *ch_avgs[i]*. Seejärel leitakse iga kanali jooksev keskmine meetodiga *ch_avgs[i]->getAverage()* ning salvestatakse see jooksvate keskmiste puhvrise *ch_avgs_buffer[i]*.

// Kõigi kanalite keskmiste leidmine

```
for (int i = 0; i < CHANNEL_COUNT; i++) {  
    ch_avgs[i]->addValue(get_sensor_channel(i)); // i-kanali jooksva keskmise  
objekti                                     uue lugemi salvestamine  
    ch_avgs_buffer[i] = ch_avgs[i]->getAverage(); // i-kanali jooksvate keskmiste  
                                                    puhvrise jooksva keskmise  
                                                    salvestamine  
}
```

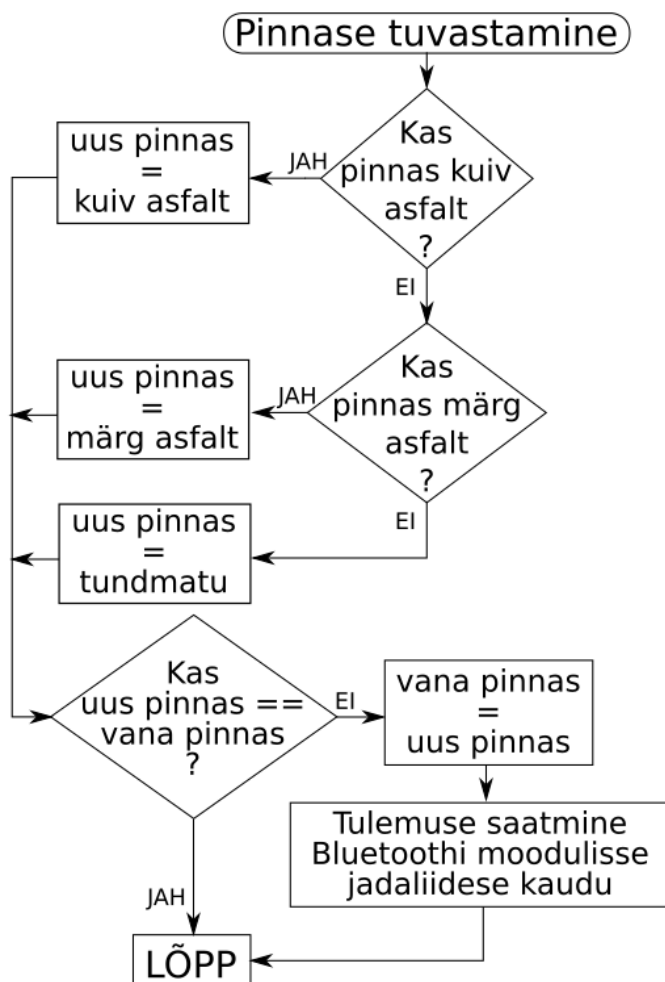
Pärast jooksvate keskmiste leidmist hakati pinnast tuvastama. Selle jaoks koostati eraldi algoritm (joonis 39). Selle järgi kirjutati funktsioon *detect_surface()*, mille välja kutsumisel kontrolliti jooksvate keskmiste puhvrise salvestatud väärtuste põhjal, kas tegu on kuiva või märja asfaldiga. Tulemus salvestati muutujasse *new_surface*. Kui kontrollitavad väärtused kummagi pinnase omadustele ei vasta, omistatakse uuele pinnasele pinnase tüüp “Tundmatu”.

```
if (is_dry_road()) { // Kui pinnas on kuiv  
    new_surface = KuivAsfalt; // Uus pinnas on KuivAsfalt  
} else if (is_wet()) { // Kui pinnas on märg  
    new_surface = Vesi; // Uus pinnas on Vesi  
} else { // Kui tundmatu pinnas  
    new_surface = Tundmatu; // Uus pinnas on Tundmatu  
}
```

Seejärel kontrolliti, kas uus pinnas on viimati salvestatud pinnasest erinev. Sellises olukorras on tegu pinnasetüübi muutumisega. Uus pinnasetüüp salvestati vana pinnasetüübi muutujasse ning info uue pinnasetüübi kohta saadeti jadaliidese kaudu

Bluetooth'i moodulisse. Sel viisil kasutati jadaliidest andmete saatmiseks vaid uue pinnase tuvastamisel, mitte pidevalt. Nii jäi mikroprotsessorile rohkem ressursi mõõtmiste võtmise ja jooksvate keskmiste arvutamiseks.

```
// kui tuvastatakse pinnase tüübi muutumine
if (new_surface != current_surface) {
    current_surface = new_surface;           // Hetkelisele pinnasele omistatakse uus
                                              // pinnas
    Serial.println(surfaces[current_surface]); // jadaliidese kaudu Bluetoothi app'i
    teksti                                    // saatmine
}
```



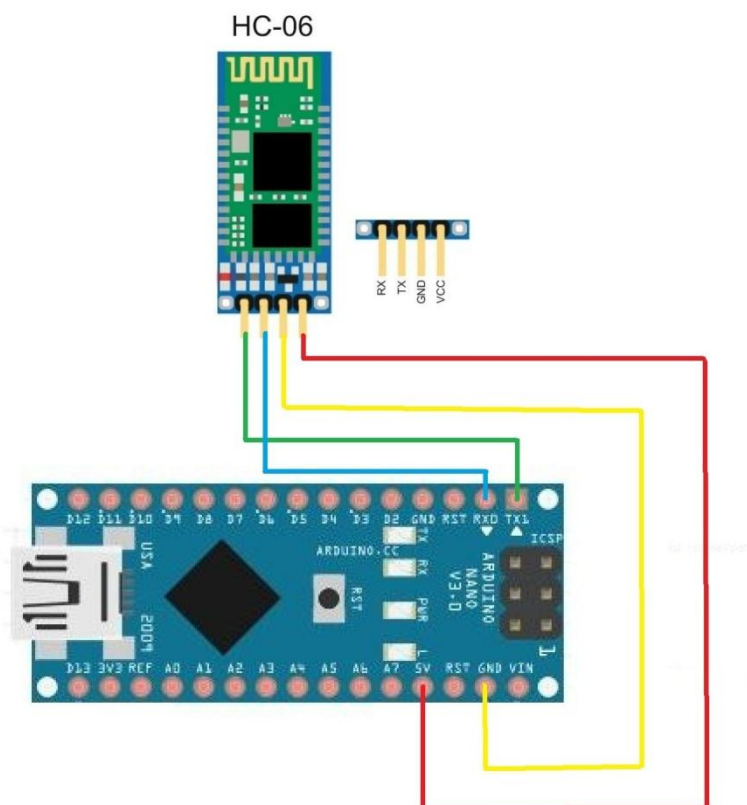
Joonis 39. Pinnase tuvastamise algoritm

Kirjutatud kood on välja toodud lisades.

13. INFO KUVAMINE TELEFONI

Tulemuste kuvamiseks nutitelefonile otsustati kasutada Bluetooth'i suhtlust, mille realiseerimiseks Arduinoga sobis laialt levinud HC-06 Bluetooth'i moodul. Arduino ja HC-06 suhtlevad üle jadaliidese, mille jaoks ühendati komponendid omavahel kujutatud viisil (joonis 40). Omavahel ühendati järgmised klemmid:

RX (Pin 0)	————>	TX
TX (Pin 1)	————>	RX
5V	————>	VCC
GND	————>	GND



Joonis 40. Arduino Nano mikrokontrolleri ning Bluetooth'i moodul HC-06 ühendamise skeem [30].

Suhtluse toimimiseks seadistatakse jadaliidese abil Arudino jadasuhtluseks baudikiirusel 9600.

```
Serial.begin(9600);
```

Tulemuste kuvamiseks nutitelefoni ekraanile kasutati Androidi rakendust Arduino Bluetooth Data. Selleks, et Bluetooth'i teel saadetud tekst mobiilirakenduses erinevatele ridadele paigutada, eraldati väärtused nutitelefoni saadetavas tekstis komadega. Lisaks on vajalik semikoolon iga saadetava paketi lõpus.

Näiteks kuiva asfaldi puhul:

```
Serial.print("Kuiv asfalt,0.7,Puudub;");
```

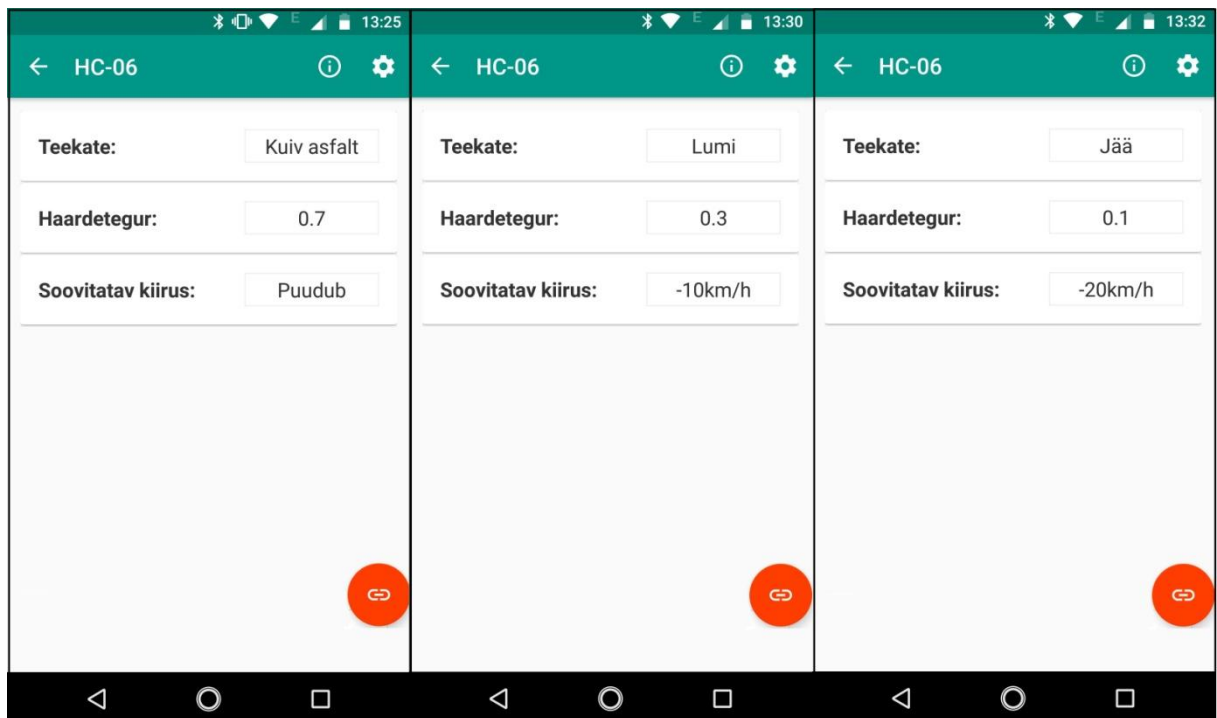
Telefoni kuvatakse kolm väärtust. Teekatte seisukord, haardetegur ning soovitatav kiirus (joonis 41). Alljärgnevalt on välja toodud erinevad kuvatavad variandid:

Teekate:	Kuiv
Haardetegur:	0.7
Soovitatav kiirus:	Vastavalt liiklusseadustele, seega soovitatav piirang puudub.

Teekate:	Märg
Haardetegur:	0.45
Soovitatav kiirus:	Olla ettevaatlikum, vajadusel sõita olemasolevast kiirusest 5 km/h madalama kiirusega.

Teekate:	Lumi
Haardetegur:	0.3
Soovitatav kiirus:	Tee on libe, olla ettevaatlik! Vajadusel sõita olemasolevast kiirusest 10 km/h madalama kiirusega.

Teekate:	Jää
Haardetegur:	0.1
Soovitatav kiirus:	Tee on väga libe, olla ettevaatlik! Vajadusel sõita olemasolevast kiirusest 20 km/h madalama kiirusega.



Joonis 41. Näide telefoni kuvatavatest väärtustest

Telefoni ja prototüübi omavaheliseks ühendamiseks on vaja telefonil Bluetooth sisse lülitada ning avada Arduino Bluetooth Data rakendus. Kui prototüüp on Bluetooth levialas, kuvatakse see HC-06 rakendusega. Sellele vajutades, küsitakse, kas kasutada rakendust kui terminali või kui vastuvõtjat. Valida tuleb vastuvõtja. Seejärel kuvatakse juba (joonis 41) nähtud pilti, kuid ilma väärtusteta. Ühendamiseks tuleb vajutada rakenduse paremal all nurgas olevat oranži nuppu. Nüüd kuvatakse ka mõõdetud väärtused.

14. PROBLEEMID, MIS ESINESID SEADME VÄLJATÖÖTAMISEL

Probleemid algasid enne katsete tegemist. Nimelt telliti vajalik andur USAst otse tootja laost. Andurite valikmälule peaks olema anduri toimimiseks vajalik tarkvara algselt peale laaditud. Antud anduril see puudus või oli andur vigane. Anduri teabelehel on olukorda kirjeldatud nii:

Sinist LED-indikaator märgutuld saab kasutada seadme programmeerimise edenemise näitamiseks. Indikaator tuli hakkab vilkuma 500ms impulsil programmeerimise hetkel. Kui programmeerimine on lõpule viidud, siis indikaatorlamp lülitatakse välja [15].

Telliti üks andur, mis kahjuks konstantselt vilkus (ehk programmeerimine polnud lõpule viidud). Peale seda telliti juurde kaks uut andurit, millest üks käitus samamoodi ja teine hakkas tööle. Tänu sellele probleemile kaotas kahe anduri raha ning lõputöö kirjutamine peatus mitmeks nädalaks.

15. JÄRELDUSED JA ETTEPANEKUD

Järeldusena võib öelda, et odava hinnaga on võimalik ehitada täiesti toimiv prototüüp. Kindlasti on tal ka puudujääke, kuid oma hinna kohta saab vajalikud andmed kätte.

Ettepanekud ja soovitusel prototüübi edasi arendamiseks:

1. Värviaur

Kuna selgus, et asfaldil mõõdetud tulemusi on kahte erinevat sorti, tekib vahepeal hetki, kus väärtused kattuvad üksteisega ning see põhjustab vale tulemuse kuvamise. Et probleemi lahendada, pakun välja võimaliku variandina lisada prototüübile lisaks värviaur. Kuna asfalt on pigem tumedamat tooni, kruus oranžikas/kollakas ning lumi valge, aitaks see eristamisel kaasa.

2. Kaamera

Lisades prototüübile kaamera, tuvastaks aur pikslite keskmise värvi järgi erinevaid värvitoone ning seetõttu, samamoodi nagu värviauri puhul, tuvastada erinevaid teepinna värvusi.

3. Niiskusaur

Prototüübile niiskusauri lisamisel oleks võimalik vähendada ebakõla kuiva ning märja vahel.

4. GPS

GPS-seadme lisamisel Arduinole oleks võimalik määrata sõiduki kiirus ning kaardi põhine asukoht. Libeduse tekkimisel kuvada mobiiltelefoni soovitatav kiirus, mis võtab arvesse sõidutee kulgu ning pidurdustekonna arvutusi.

5. Aurile võimsam LED-lamp

Liiga nõrga LED-lambi tõttu ei olnud pimedas võimalik teepinda tuvastada. Auril on olemas vajalik pistik lisalambi ühendamiseks, seega on probleem

kergeasti lahendatav. Kuna LEDi asendamisel võimsama lambiga voolutarve kasvab, tuleb lisaks leida ka sobiv toitemoodul.

Kindlasti peaks olema seade ilmastikukindel. Kuna esimesel prototüübil lähtuti pigem hinnast ja uuriti, kas selline teostus on üldse võimalik, valiti andur, mis ei olnud ilmastikukindel.

16. HINNAKIRI JA MAKSUMUS

Seadmete hind ei ole väga kallis ja kõik komponendid on Eestis olevates veebipoodides kättesaadavad. Järgnevalt toon välja põhilised komponendid koos hindadega.

Arduino Nano – **19€**

Kättesaadav yeint.ee elektroonika internetikauplusest [19]

BSS138 – 4 kanaliga kahesuunaline nivookonverter – **2.95€**

Kättesaadav yeint.ee elektroonika internetikauplusest [20]

AS7263 – spektromeeter – **25.95€**

Kättesaadav yeint.ee elektroonika internetikauplusest [21]

Bluetooth moodul HC-05 – **12€**

Kättesaadav oomipood.ee elektroonika internetikauplusest [22]

Auto USB laadija 5V 2.1A – **6€**

Kättesaadav oomipood.ee elektroonika internetikauplusest [26]

USB micro juhe 3m – **5€**

Kättesaadav oomipood.ee elektroonika internetikauplusest [27]

USB-juhtme hind võib pikkuse tõttu varieeruda, sõltuvalt auto margist ja auto pakiruumis olevast sigaretisüütaja pistiku valmidusest. Arduino juhtmete ja korpuse hinda ei ole arvestatud.

KOKKUVÕTE

Magistritöö eesmärgiks oli konstrueerida seade, mille abil oleks võimalik tuvastada teekattel erinevaid ilmastikutingimusi (vesi, jää, lumi) ning mis oleks tavakasutajale kättesaadav. Eesmärgi saavutamiseks viidi läbi patendi- ning turul olevate seadmete uuring, koostati prototüüpseade ning viidi läbi katseid. Seadme tingimuste koostamisel lähtuti turul olevate seadmete uurimisest ja probleemi olemasolust. Patendiuuringus analüüsiti lähemalt seitset erinevat patenti ning leiti, et turul olevad seadmed on tehniliselt hästi läbi mõeldud ning funktsionaalsed, kuid mõõtmelt suured ja tavakasutajale kättesaadamatud. Nende hind on kõrge ning need on kasutusel teeholdusettevõtetes või lennujaamades.

Prototüüpseade töötati välja lähtudes märksõnadest lihtsus ning taskukohane hind. Seade koostati erinevatest osadest, mis omavahel tööle pandi. Anduri mõõtetehnoloogiaks on spektroskoopia põhimõttel olev signaali lugemine. Kuna tegu on seadmega, mis mõõdab teeolusid teatud distantsi kauguselt, on kasutusel peegeldumise põhimõttel olev infrapunaandur. Andur tuvastab kõiki kuut lainepikkust korraga, tänu millele saab selgesti eristatavaid tulemusi. Esmased katsed tehti statsionaarsed, et katsetada anduri toimetulemise võimekust. Hiljem tehti ka sõidukatsed erinevatel teekatetel ja ilmastikutingimustel.

Magistritöö tulemusena koostati prototüüp, mis võimaldab tuvastada erinevaid ilmastikutingimusi ning ka erinevaid teekatteid. Katsete tulemusena koostati graafikud, mis väljendavad erinevaid tulemusi. Graafikute analüüsi ning liikuvate keskmiste (*moving average*) tulemusel programmeeriti kood ning pandi seade tööle. Võrreldes olemasolevate turul olevate seadmetega on prototüüp taskukohase hinnaga ning isevalmistatav, kuid vajab täiustusi ning lisakatseid.

SUMMARY

The aim of this masters' thesis is to construct a device that would detect different weather conditions on the road (water, ice, snow) and is available for general use. To achieve this aim, a research of patents and available devices on the market was made, a prototype device was constructed and experiments were made. The composition of the requirements of the device emanated from the available devices on the market and the essence of the problem. In the patent research, seven devices were analysed more closely and it was found that the devices are technically well thought through and functional, but they are large in parameters and not available for the general use. Their price is high and they are in use in road maintenance companies and airports.

The prototype device was developed based on the key words 'simplicity' and 'affordable price'. The device was constructed from different components, that were made to function together. The measuring technology of the sensor is to read a signal based on the principle of spectroscopy. As it is a device that measures the road conditions on a given distance, an infrared sensor based on reflection principles was used. As the sensor identifies all six wave lengths at the same time, the results are easily distinguishable. The primary tests were stationary to establish the capability of the device. Later, driving tests were made on different road pavements and weather conditions.

As a result of the masters' thesis, a prototype was constructed that enables the identification of different weather conditions and different types of road 'pavements. As a result of the tests, different graphs were drawn that represent different results. Based on the analysis of the graphs and moving averages, a code was programmed and the device was made to function. In comparison with the available devices on the market, the prototype has an affordable price and is independently constructable but needs improvements and additional testing.

KASUTATUD KIRJANDUS

1. **T. Tsubasa., K, Haruhiko.** (2010). Vehicle-mounted sensor, vehicle lamp, vehicle, and road surface state sensor. Espacenet. Kättesaadav:
https://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/biblio?CC=CN&NR=106627586A&KC=A&FT=D&ND=3&date=20170510&DB=EPODOC&locale=en_EP
(18.02.2018)
2. **M, Yoshiro.** (2000). ROAD SURFACE STATE DETECTOR. Espacenet.
Kättesaadav:
https://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/biblio?CC=JP&NR=2000180378A&KC=A&FT=D&ND=3&date=20000630&DB=EPODOC&locale=en_EP
(18.02.2018)
3. **I, Shigeru.** (1987). ROAD CONDITION DETECTOR. Espacenet. Kättesaadav:
https://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/biblio?DB=EPODOC&II=123&ND=3&adjacent=true&locale=en_EP&FT=D&date=19870302&CC=JP&NR=S6247566A&KC=A (18.02.2018)
4. **K, Hiroshi., N, Masami., K, Toshiya.** (1990). Road surface state detector.
Espacenet. Kättesaadav:
https://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/biblio?DB=EPODOC&II=142&ND=3&adjacent=true&locale=en_EP&FT=D&date=19901204&CC=JP&NR=H02293611A&KC=A (18.02.2018)
5. **M, Yoshiro., T, Junichi., N, Yuichi.** (1999). Road surface state detector.
Espacenet. Kättesaadav:
https://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/biblio?CC=JP&NR=H11223517A&KC=A&FT=D&ND=3&date=19990817&DB=EPODOC&locale=en_EP
(18.02.2018)
6. **P, W, Decker.** (1981). Road surface ice detector and method for vehicles. Google patents. Kättesaadav:
[https://patents.google.com/patent/US4274091A/en?q=\(Road+adhesion+detector\)&oq=\(Road+adhesion+detector\)](https://patents.google.com/patent/US4274091A/en?q=(Road+adhesion+detector)&oq=(Road+adhesion+detector)) (18.02.2018)

7. **T, Junichi., N, Yuichi., E, Koichi.** (1998). ROAD SURFACE STATE DETECTOR AND VEHICLE LOADING THE APPARATUS, AND ROAD SURFACE INFORMATION CONTROL SYSTEM USING THE APPARATUS. Espacenet. Kättesaadav: https://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/biblio?DB=EPODOC&II=103&ND=3&adjacent=true&locale=en_EP&FT=D&date=19980414&CC=JP&NR=H1096694A&KC=A (18.02.2018)
8. Lufft. (2018). MARWIS-UMB - Mobile Advanced Road Weather Information Sensor. Kättesaadav: <https://www.lufft.com/products/road-runway-sensors-292/marwis-umb-mobile-advanced-road-weather-information-sensor-2308/> (25.02.2018)
9. Vaisala. (2017). Remote Road Surface State Sensor DSC111. <https://www.vaisala.com/sites/default/files/documents/DSC111-Datasheet-B210470EN-C.pdf> (25.02.2018)
10. Sparkfun. (2018). SparkFun Spectral Sensor Breakout - AS7263 NIR (Qwiic). Kättesaadav: <https://www.sparkfun.com/products/14351> (25.02.2018)
11. **P, Jain.** (2012). Infrared Sensors or IR Sensors. Engineersgarage. <https://www.engineersgarage.com/articles/infrared-sensors?page=2> (18.02.2018)
12. **F, R – Gutierrez., M, A, Hasan.** (s.a). Survey and Evaluation of Ice/Snow Detection Technologies – Final report. NORTHLAND ADVANCED TRANSPORTATION SYSTEMS RESEARCH LABORATORIES. Kättesaadav: http://www.d.umn.edu/natsrl/documents/FY2003reports/IRID_2003.pdf (29.02.2018)
13. Füüsikaleksikon. (s.a). Auto pidurdustee pikkus. Näidisülesanded 2. Impulss, töö, energia. Kättesaadav: <https://xn--fsikaleksikon-woba.ee/artikkel/mehaanika-naidisulesanded/me2-dunaamika/naidisulesanded-2-impulss-energia/i13-auto-pidurdustee-pikkus/> (29.02.2018)
14. **J. Kleemann.** (s.a). Sõitmine rasketes tee- ja ilmastikuoludes. Liikluskoolitus. Kättesaadav: https://www.liikluskoolitus.ee/internetikool/doc/sitmine_rasket_8tfpc270sw.pdf (02.03.2018)
15. Sparkfun. (2016). AS7263 6-Channel NIR Spectral_ID Device with Electronic Shutter and Smart Interface. Kättesaadav: <https://cdn.sparkfun.com/assets/1/b/7/3/b/AS7263.pdf> (03.03.2018)

16. Arduino. Getting Started with the Arduino Nano. Kättesaadav:
<https://www.arduino.cc/en/Guide/ArduinoNano> (03.03.2018)
17. Arduino. (s.a). Arduino nano: Kättesaadav: <https://store.arduino.cc/arduino-nano>
(05.03.2018)
18. Sparkfun. (s.a). SparkFun Logic Level Converter - Bi-Directional.
<https://www.sparkfun.com/products/12009> (05.03.2018)
19. Yeint. (s.a). Arduino platvormid. Kättesaadav: https://www.yeint.ee/elektroonika-1/arendusvahendid/arduino/arduino-platvormid/arduino-nano-30?gclid=Cj0KCQjw28_XBRDhARIsAEk21FiIFASW9oIjvwvWF3mSzd663eKCCTUIT-D--oFFCiXIjoIbGrmavd0aAnrqEALw_wcB (05.03.2018)
20. Yeint. (s.a). BSS138 - 4 kanaliga kahesuunaline nivookonverter. Kättesaadav:
<https://www.yeint.ee/elektroonika-1/arendusvahendid/arendusplaadid/konverterid-2/bss138-4-kanaliga-kahesuunaline-nivookonverter> (05.03.2018)
21. Yeint. (s.a). AS7263 - spektromeeter / valgusandur. Kättesaadav:
<https://www.yeint.ee/elektroonika-1/arendusvahendid/andurid-1/valgus-ja-optilised-andurid/as7263-spektromeeter-valgusandur> (05.03.2018)
22. Oomipood. (s.a). Bluetooth moodul HC-05. Kättesaadav:
https://www.oomipood.ee/product/cz_hc_05_bluetooth_moodul_hc_05
(05.03.2018)
23. Entsüklopeedia. (2016) Infrapunakiirgus.
<http://entsyklopeedia.ee/artikkel/infrapunakiirgus2> (04.04.2018)
24. **A, Kummel., N, Raud.** (s.a). Thomas Timusk. Veebiakadeemia. Kättesaadav:
<http://veebiakadeemia.ee/puramiidi-tipus/thomas-timusk/> (09.05.2018)
25. Metshein. (s.a). Arduino ja Bluetooth (HC-06). Kättesaadav:
<https://www.metshein.com/arduino-ja-bluetooth-hc-06/> (09.05.2018)
26. Oomipood. (s.a). Auto USB laadija 2xUSB väljund 5V 2.1A, näpu sang.
Kättesaadav:
https://www.oomipood.ee/product/44222_gby_auto_usb_laadija_2xusb_valjund_5v_2_1a_napu_sang?sort=p.price&order=ASC (09.05.2018)
27. Oomipood. (s.a). USB A pistik-5pin USB mini B pistik kaabel 3m vaskkaabel.
Kättesaadav:
https://www.oomipood.ee/product/vlcp60300b30_usb_a_pistik_5pin_usb_mini_b_pistik_kaabel_3m_vaskkaabel (09.05.2018)

28. Wikipedia. (2018). Moving average. Kättesaadav:
https://en.wikipedia.org/wiki/Moving_average (20.05.2018)
29. **R, Tillaart.** (2018). Github. Kättesaadav:
<https://github.com/RobTillaart/Arduino/tree/master/libraries/RunningAverage>
(20.05.2018)
30. Jsumo. (s.a). HC-06 Bluetooth Module (Serial Receiver Module). Kättesaadav:
<http://www.jsumo.com/hc-06-bluetooth-module-serial-receiver-module>
(20.05.2018)

LISAD